

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Měření změn útlumu prvků PON s teplotou
Measurement of Attenuation Changes of PON's
Devices with Temperature

2010

Tomáš Pijáček

Zadání bakalářské práce

Student:	Tomáš Pijáček
Studijní program:	B2647 Informační a komunikační technologie
Studijní obor:	2612R025 Informatika a výpočetní technika
Téma:	Měření změn útlumu prvků PON s teplotou Measurement of Attenuation Changes of PON's Devices with Temperature

Zásady vypracování:

1. Popište principy činnosti prvků PON
2. Proveďte rozbor měření útlumových charakteristik vláknových izolátorů a děličů
3. Sestavte měřicí systém pro měření teplotních změn útlumu prvků PON sítí
4. Změřte teplotní změny prvků PON sítí

Vedoucí bakalářské práce: **prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 3. května 2010

.....
Tomáš Pijáček

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. RNDr. Vladimíru Vašínkovi, CSc. za podporu a cenné rady při psaní.

Abstrakt

Tento text je určen hlavně zájemcům o rozšíření znalostí v oblasti telekomunikací. Práce nastiňuje celkové rozdělení optických sítí, popisuje architekturu pasivních sítí a jejich možné varianty. Dále zahrnuje pojednání o použití a vlastnostech optických pasivních prvků, jako jsou optické konektory, optická vlákna a podobně. Zaměřuje se také na možné způsoby měření útlumu pasivních optických prvků. V závěrečné části se nachází celkové zpracování měření útlumu vláknových děličů spolu s vyhodnocením naměřených výsledků.

Klíčová slova

PON, APON, BPON, EPON, GPON, FTTx, Coupler, Splitter

Abstrakt

This text is mainly interested in expanding knowledge in the field of telecommunications. It describes the total allocated optical networks and the architecture of passive networks and their possible variants. In addition it includes information about the use and characteristics of passive optical components like as optical connectors, optical fibers and the like. It also focuses on possible ways to measure the slump of passive optical components. The final part includes the overall processing of fiber attenuation measurements dividers along with the evaluation of the measured results.

Keywords

PON, APON, BPON, EPON, GPON, FTTx, Coupler, Splitter

Obsah

Úvod.....	1
1 Dělení optických sítí.....	2
1.1 Optické sítě bod-bod	2
1.2 Optické sítě mnohabodové	3
2 Základní principy činnosti prvků PON	4
2.1 Architektura PON.....	5
2.1.1 Optická přípojka FTTx.....	5
2.1.2 Základní funkční celky optických sítí:	6
3 Varianty sítí PON	7
3.1 APON	7
3.2 BPON	7
3.3 GPON	10
3.4 EPON	12
4 Prvky pasivní optické sítě	14
4.1 Optické vlákno	14
4.1.1 Dělení optických vláken.....	15
4.2 Optický konektor.....	15
4.2.1 Typy optických konektorů	16
4.3 Optická spojka – coupling.....	16
4.4 Optický atenuátor	17
4.5 Vláknový dělič – coupler, splitter	17
5 Měření útlumu	20
5.1 Transmisní metody měření útlumu.....	20
5.1.1 Metoda dvou délek.....	20
5.1.2 Metoda vložných ztrát.....	21
5.1.3 Metoda substituční	21
5.2 Metoda zpětného rozptylu.....	22
6 Průběh měření	23
6.1 Použité měřicí přístroje	23
6.2 Postup měření.....	24
7 Měření vložného útlumu	27
8 Zhodnocení naměřených výsledků.....	34
Závěr	35
Literatura.....	36

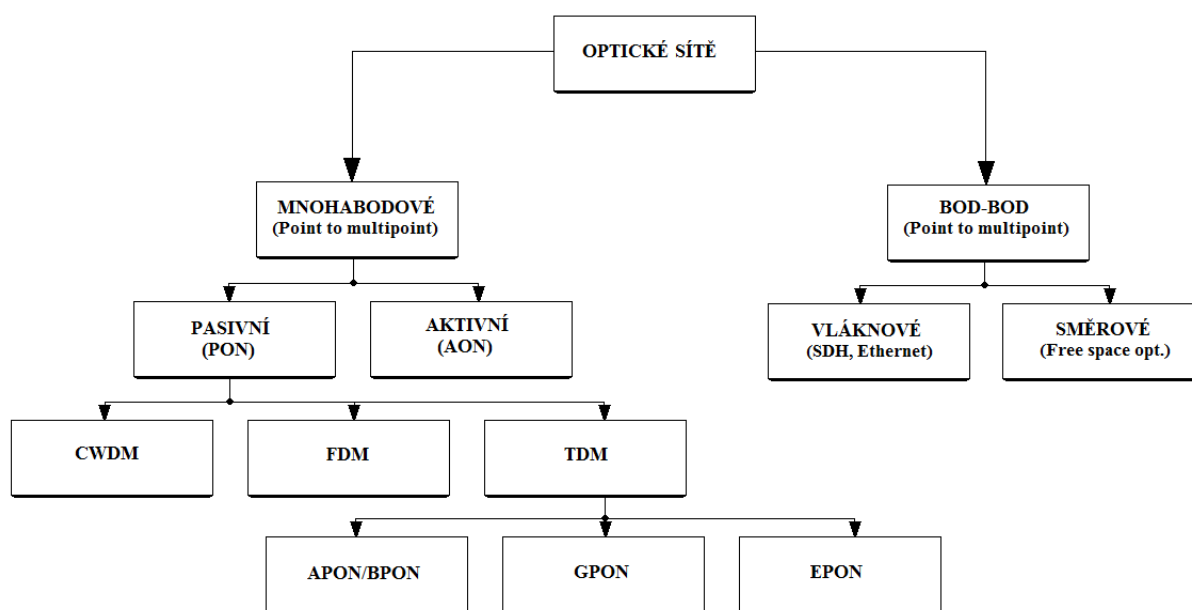
Seznam obrázků	37
Seznam tabulek	38
Seznam grafů.....	39
Seznam příloh	40

Úvod

Díky významnému pokroku v oblasti telekomunikačních aplikací stále více a více rostou požadavky na přenášený objem dat. Značný rozvoj lze pozorovat v multimediálních službách, kde se začíná spouštět distribuce videa a televize ve vysokém rozlišení (HD). Takové služby s sebou nesou zvýšené nároky na propustnost a celkovou výkonnost přístupových sítí, tím pádem v budoucnu již nebudou plně dostačovat metalické přípojky pro tyto nové trendy a bude nutné najít jinou cestu, po které by bylo možné realizovat dostatečný spoj. Dnešní doba skýtá možnost využití optických technologií, které by plně dostačovaly dnešním trendům. Budování optických přístupových sítí je však v dnešní době stále velmi nákladné. Ekonomicky nejlevnější a nejjednodušší variantou budování optických sítí je budování pasivních optických sítí (PON), kde z ústředny vede jedno optické vlákno k pasivnímu vláknovému děliči, který rozdělí optický signál do požadovaného počtu směrů. V Evropě ale stále není vybudováno tolik optických sítí, jako je tomu v některých Asijských zemích jako například Jižní Korea či Japonsko. V praktické části jsem se takto důležitý pasivní prvek snažil proměřit, abych zjistil jeho vlastnosti chování v závislosti na teplotě, která se pohybovala od 20°C do 70°C. Pro měření útlumu byly vybrány 3 pasivní vláknové děliče od firmy Optokon, které jsou popsány v teoretické části bakalářské práce.

1 Dělení optických sítí

Optické sítě rozlišujeme na mnohabodové (PMP, P2MP) a na sítě bod-bod (PP, P2P). Mnohabodové optické sítě se dále dělí na sítě PON (pasivní), kterými se zabývá tato bakalářská práce, a na sítě AON (aktivní). AON sítě dosahují oproti PON větších dosahů přenosu. Nevýhodou je pak vysoká pořizovací cena a nutnost zajištění napájení pro aktivní prvky [1].



Obrázek 1 - základní rozdělení optických sítí [1]

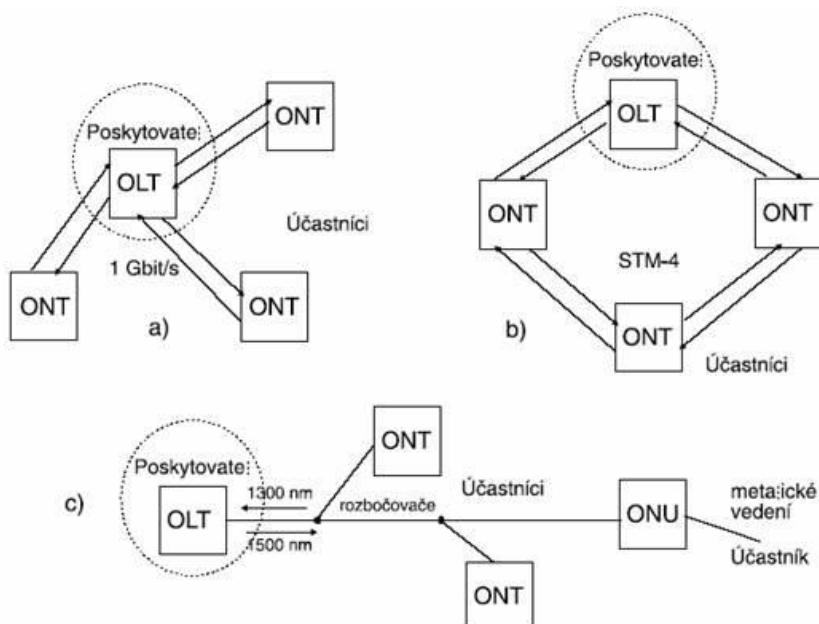
Na obrázku 1 si můžeme povšimnout, že současné pasivní optické sítě jsou mnohabodového typu, využívají pro sdílený přístup k médiu časové sdružování TDM (Time Division Multiplex) příspěvků. Časový multiplex dále TDM slouží k přenosu více signálů jedním společným přenosovým médiem. Jednotlivé signály jsou pak od sebe odděleny pevně daným krátkým časovým intervalem Δt po, který smí vysílat. Je použita tzv. rámcová struktura. V dnešní době se vedle časového sdružování TDM vyskytuje i vlnové multiplexování WDM (Wavelength Division Multiplex), které dokáže umístit větší množství oddělených vlnových délek do společného vlákna. Pro dosažení maximálních přenosových rychlostí se kombinuje vlnové dělení s časovým [1].

1.1 Optické sítě bod-bod

Spoje jsou realizované dvojicí vláken pomocí SDH (Synchronní digitální hierarchie), synchronním transportním modulem STM-1 ($155 \text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$) či STM-4 ($622 \text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$) nebo pomocí Ethernetu s rychlostmi $100 \text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$ nebo $1 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$ (obr. 2a) [1].

1.2 Optické sítě mnohabodové

Účastníky sdílená infrastruktura s různou topologií a technickou realizací. Přináší efektivnější provoz. Mnohabodové uspořádání je typické pro přístupovou síť (obr. 2b, 2c) [1].



Obrázek 2 - Příklady optických sítí [1]

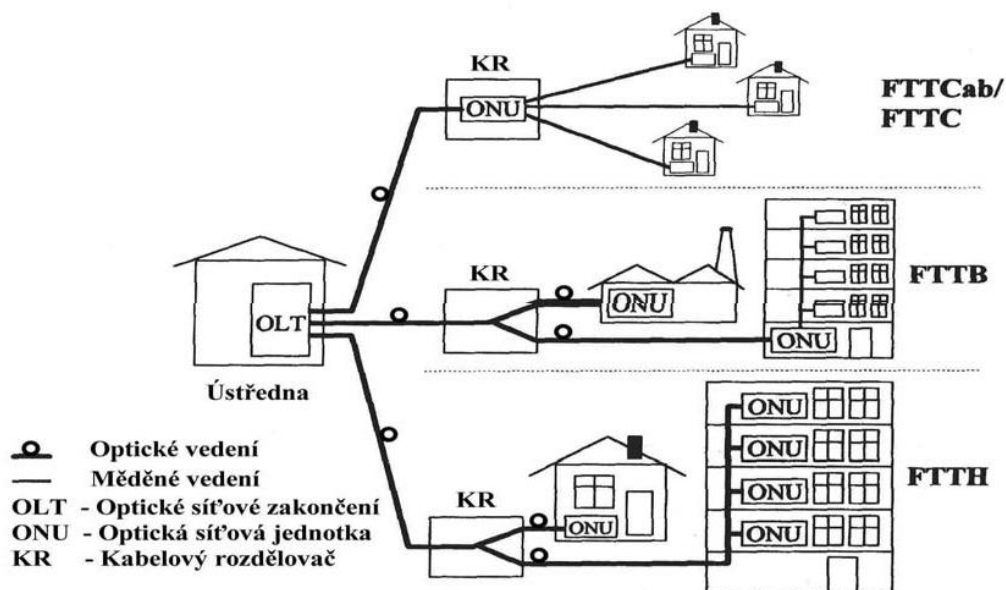
2 Základní principy činnosti prvků PON

PON (Passive Optical Network) standardizované u ITU-T (Internacional Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) si můžeme představit jako HFC (Hybrid Fibre Coax) síť kabelových přípojek, která představuje moderní přenos po hybridních opticko-koaxiálních systémech, kde se využívá optických a koaxiálních kabelů. U PON jsou nahrazeny koaxiální kabely jednovodovým vláknem. PON tvoří základ moderních přístupových sítí s větší šířkou pásma potřebnou pro realizaci širokopásmových služeb. Základním kamenem PON jsou optické sítě, přenos dat je tak přenášen po optických vláknech a nikoliv po měděných kabelech, které v současnosti připojují uživatele do přístupových sítí. Pasivní optická síť představuje síť bez jakýchkoliv přídavných optoelektronických či elektronických zařízení, což má několik výhod [4,2]:

1. PON nejsou EMI (Elektromagnetic Interference) citlivé vůči elektromagnetickému rušení, které zhoršuje provoz zařízení. Jinými slovy EMI je proces, ve kterém se energie vyprodukovaná zdrojem přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do jiných systémů, kde působí rušivě.
2. Nedochází k postupné degradaci jako u aktivních komponentů, tím pádem jsou spolehlivější a nevyžadují údržbu. Dostávají vysoké morální životnosti. V případě znečištění konektorů prachem je lze snadno pomocí čistící soupravy vyčistit.
3. Nevyžadují elektrické napájení, a proto nejsou citlivé na výpadky napětí.
4. PON jsou odolné vůči odposlechu. Optické vlákno nevyzařuje žádné elektromagnetické pole, tudíž je velmi obtížné odposlechnout provoz běžící na tomto vlákne.
5. Přenosová kapacita překračuje dnešní požadavky na přenosovou rychlost a to díky širšímu pásmu optického vlákna.
6. Díky nízkému vložnému útlumu optického vlákna dochází k přenášení informací na dlouhé vzdálenosti. Nevýhodou je pak disperze, která způsobuje změnu tvaru impulzu.

Mezi nevýhody PON můžeme zařadit vysoké náklady na vybudování sítí, nutnost vybudovat zcela nové optické přípojky, nejednotnost řešení [4,2].

2.1 Architektura PON



Obrázek 3 - Architektura FTTX = PON [4]

2.1.1 Optická přípojka FTTx

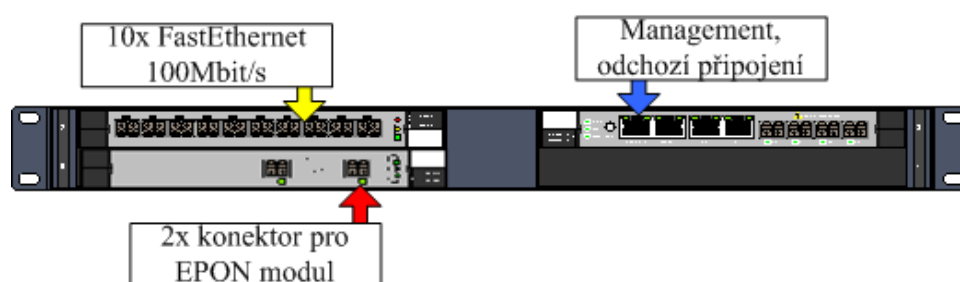
Optická přípojka představuje určité varianty možností připojení se do optické sítě FTTx (Fiber to the x), kde x označuje řešení přístupových sítí, někdy též nazývané „první nebo poslední míle“ na základě optických vláken. Samotných variant optických přípojek FTTx existuje celá škála, proto uvedu nejzákladnější z nich:

1. FTTC (Fiber To The Curb) – jedná se o variantu, kde je optické vlákno přivedeno do rozvaděče, který se nachází u chodníku. Tím pádem lze šířku přenášeného pásma a náklady rozdělit mezi více uživatelů. V současné době je nejvhodnější variantou řešení. Úsek mezi účastníky a ONU (Optical Network Unit – ukončení optického vlákna v rozvaděči) se realizuje pomocí jiného přenosového systému s vysokou přenosovou rychlostí [4,6].
2. FTTB (Fiber To The Business) – obdoba FTTC, rozdílem je ukončení optického vlákna (ONU) v budově, ve které obsluhuje uživatele. Ukončení se obvykle nachází v suterénu budovy. Tato varianta je řešením pro připojení velkých společností [4,6].
3. FTTH (Fiber To The Home) – u této varianty je optické vlákno přivedeno přímo do domu účastníka. Je to jedno z nejlepších řešení, ale velkou nevýhodou může být vysoká cena nákladů na realizaci. Využití přenosové kapacity vlákna bychom při současné přenosové kapacitě páteřních sítí nevyužili [4,6].

2.1.2 Základní funkční celky optických sítí:

Optické sítě jsou zpravidla složeny z určitých celků zajišťujících správný chod optické sítě, které je nutno znát pro pochopení probírané problematiky. Jsou jimi:

- Optické linkové zakončení (Optical line Termination - OLT). Zajišťuje funkce síťového rozhraní mezi přístupovou sítí a sítěmi telekomunikačních služeb. Jedná se o bránu mezi PON a páteřními telekomunikačními sítěmi (PSTN, SDH, VOIP, Ethernet, IP/ATM směrovače...). Pro názornost optického linkového zakončení slouží obrázek 4 [5,7].



Obrázek 4 - OLT MiniMAP 9100 [5]

- Optická distribuční síť (Optical Distribution Network - ODN). Jedná se o soubor optických přenosových prostředků mezi OLT a jednotkami ONU. Mohou to být optická vlákna, konektory, spojky, optické rozbočovače, útlumové články, optické filtry... [1,5,7].
- Optické ukončující jednotky (Optical Network Termination - ONT). Zabezpečují funkce účastnického rozhraní mezi koncovými zařízeními účastníků a přístupovou sítí [5,7].
- Optické síťové jednotky (Optical network Unit - ONU). Zabezpečují funkce rozhraní mezi optickou a metalickou částí přístupové sítě – navazující Ethernet, xDSL, WiFi. Na obrázku 5 můžeme pro představu vidět jednotku ONU [5,7].

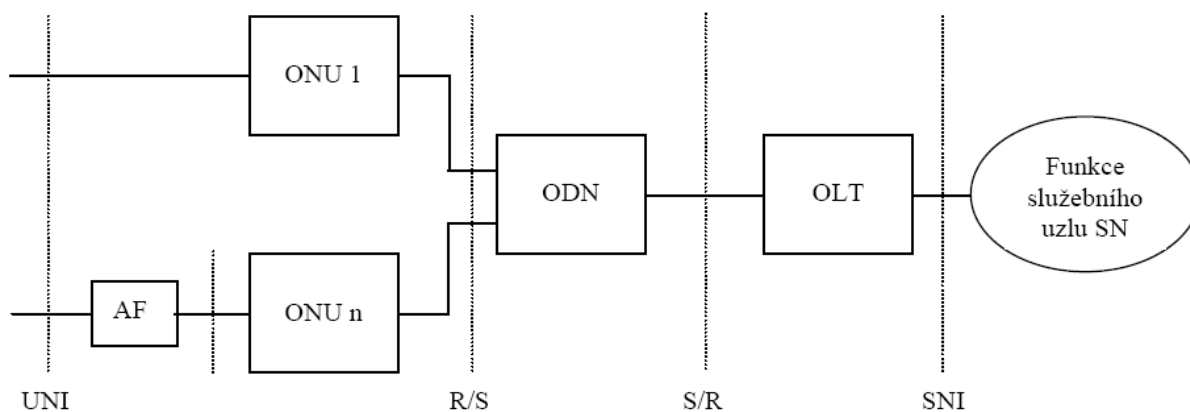


Obrázek 5 - Jednotka AT-ON1000 [5]

3 Varianty sítí PON

3.1 APON

Jedná se o širokopásmovou pasivní optickou síť, kterou standardizovalo doporučení ITU-T G.983, přenos signálu je realizován na základě ATM (Asynchronous Transfer Mode) buněk, proto označení APON. Nabízí dvě varianty služby přenosu: symetrickou službu o rychlosti přenosu $155,52 \text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$ (OC-3) a asymetrickou službu v dopředném směru (ze sítě k uživateli) s přenosovou rychlostí $622,08 \text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$ (OC-12) a ve zpětném směru $155 \text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$. Technologie ATM má tu výhodu, že se přenáší tzv. ATM buňky, které mají stejnou velikost. ATM buňku tvoří 53 bajtů, 5 bajtů tvoří záhlaví buňky a zbytek bajtů tělo buňky. V záhlaví se přenášejí informace o zdroji a cíli, které se formují v tzv. VPI (Virtual Path Identifier) a VCI (Virtual Channel Identifier). Do těla buňky se potom vkládají přenášená data. ATM používá metody přepínání a přenosu, které mohou zvládat rozdílné typy služeb jako hlas, data a video. Na obrázku 6 můžeme vidět referenční model pasivní optické sítě PON založené na principu ATM. AF (Adaptation Function) slouží jako převodník z uživatelského rozhraní ONT/ONU na UNI a opačně. Bod S, který se nachází na optickém vlákne za OLT v sestupném směru a za ONU ve vzestupném směru, slouží jako optický spojovací bod (optický konektor nebo optická spojka). Bod R, který je umístěn na optickém vlákne před ONU v sestupném směru a před OLT ve vzestupném směru, slouží jako spojovací bod (optický konektor nebo optická spojka) [3].



Obrázek 6 - Referenční schéma optické přístupové sítě APON [3]

3.2 BPON

Tak jako u APON, i u této pasivní optické sítě je realizován přenos na základě ATM buněk. Rozdíl je v používání vlnových délek, APON používá pro přenos tzv. základní okno vlnových délek, kdežto BPON používá mimo základního okna i rozšířené okno. BPON je nazývána širokopásmovou pasivní

optickou sítí (Broadband PON), kterou standardizovalo doporučení ITU-T G.983.3. Síť je obdobně jako APON tvořena širokopásmovým optickým přenosovým systémem typu 1:n, to znamená, že na distribučních vláknech je připojeno na jedno napájecí vlákno. Nezávisle může přenášet jakýkoliv datový tok např. video, hlas..., BPON je schopna přenášet nejen ATM buňky (datové toky bez ohledu na rámec signálu), ale také ethernetové rámce atd. Referenční schéma sítě BPON je na obrázku 7. WDM je systém, který se nalézá v OLT a plní funkci rozbočení a sloučení signálů ve vysílání a příjmu tj. oddělení signálů z oken nosných vlnových délek 1310nm a 1550nm. WDM systém, který je umístěný za OLT, plní funkci WF1, tj. rozbočení a sloučení signálů základního a rozšířeného pásma v okně 1550nm. WDM systém před ONU plní funkci WF2, tj. sloučení a rozbočení základního a rozšířeného pásma. Podle směru a typu sítě je možné uživateli poskytovat symetrickou a asymetrickou službu. V tabulce 1 si můžeme povšimnout rozdílu mezi skutečnou a jmenovitou hodnotou přenosové rychlosti. Skutečná přenosová rychlost je menší z důvodu velikosti záhlaví ATM buněk [3].

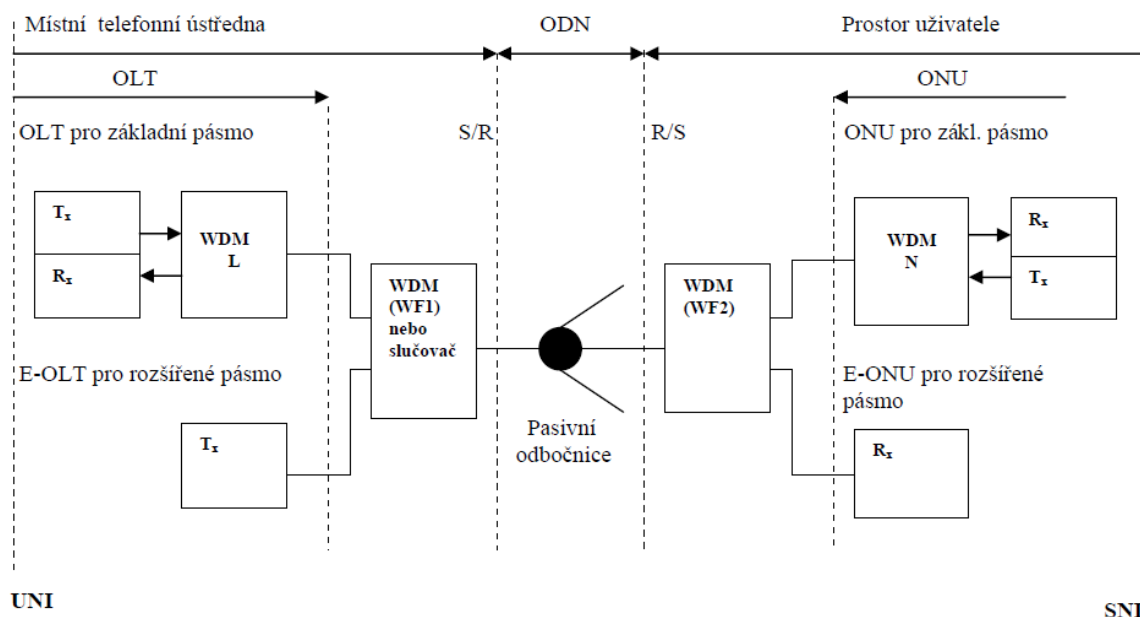
Tabulka 1 - Jmenovité a skutečné přenosové hodnoty sítě APON a BPON [3]

Přenosový směr	Jmenovitá přenosová rychlost	Skutečná přenosová rychlost
Od uživatele	155,52 Mbit·s ⁻¹	147,20 Mbit·s ⁻¹
K uživateli	155,52 Mbit·s ⁻¹	149,97 Mbit·s ⁻¹
Od uživatele	622,08 Mbit·s ⁻¹	588,80 Mbit·s ⁻¹
K uživateli	622,08 Mbit·s ⁻¹	599,86 Mbit·s ⁻¹

Sítě APON a BPON používají pro směr od účastníka a k účastníkovi dvojice přenosových rychlostí uvedené v tabulce 2.

Tabulka 2 - Jmenovité přenosové rychlosti sítě APON a BPON [3]

Typ sítě	Symetrie	Přenosový směr k uživateli	Přenosový směr od uživatele
APON, BPON	Symetricky	155 Mbit·s ⁻¹	155 Mbit·s ⁻¹
APON, BPON	Asymetricky	622 Mbit·s ⁻¹	155 Mbit·s ⁻¹
BPON	Symetricky	622 Mbit·s ⁻¹	622 Mbit·s ⁻¹



Obrázek 7 - Referenční schéma optické přístupové sítě BPON [3]

Pro tyto přenosové rychlosti jsou optická rozhraní umístěna jak v OLT v místní telefonní ústředně, tak v jednotkách ONT/ONU v prostorech uživatele. Přenosová rychlost připadá na 32 (64) uživatelů, kterým je možno signál s touto rychlostí poskytnout. V tabulce 3 můžeme vidět průměrné hodnoty přenosové rychlosti, které připadají na jednotlivé ONT/ONU pro oba typy rozhraní a při uvažovaných počtech připojených ONT/ONU [3].

Tabulka 3 - Průměrná přenosová rychlost na jedno ONT v APON a BPON [3]

Rozhraní v OLT pro rychlost [Mbit·s ⁻¹]	155		622	
Počet připojených uživatelů na jedno rozhraní v OLT	32	64	32	64
Prům. přenosová rychlost na jednotlivém ONT/ONU [Mbit·s ⁻¹]	4,84	2,42	19,44	9,72

U sítí APON a BPON se používá k vytvoření přenosové cesty pro obousměrný kanál multiplexování s hrubým vlnovým dělením CWDM. Hlavní rysy optických sítí APON a BPON jsou shrnuty v tabulce 4 [3].

Tabulka 4 - Hlavní rozdíly mezi optickými sítěmi APON a BPON [3]

Typ sítě	APON	BPON
Protokol	ATM	ATM
Definiční standard	ITU-T G.983.1	ITU-T G.983.3
Architektura sítě	Symetrická: FTTCab/B/C/H Asymetrická: FTTCab/B/C	Symetrická: FTTCab/B/C/H Asymetrická: FTTCab/B/C
Typ vlákna	ITU-T G.652 (1 nebo 2 vlákna)	ITU-T G.652 (1 vlákno)

Maximální fyzická délka optic. vlákna OLT-ONT	20 km	20 km
Rozbočovací poměr	až do 32 (64) odbočení	až do 32 (64) odbočení
Rozsah nosných vlnových délek	Jedno vlákno: K uživateli: 1480 až 1580 nm Od uživatele: 1260 až 1360 nm Dvě vlákna: 1260 až 1360 nm	Od uživatele: 1260 až 1360 nm (ATM-PON) Od uživatele a/nebo k uživateli: Střední okno: 1360 až 1480 nm (pro budoucí použití) Okno 1550 nm: Základní okno: 1480 až 1500 nm (ATM PON k uživateli) Rozšířené okno: (1) 1539 až 1565 nm (ADS) (2) 1550 až 1560 nm (VDS) Okno L (1565 až 1625 nm): pro budoucí použití
Přenosová rychlost	Symetricky: 155/155 Mbit·s ⁻¹ Asymetricky: K uživateli: 622 Mbit·s ⁻¹ Od uživatele: 155 Mbit·s ⁻¹	Symetricky: 155/155 Mbit·s ⁻¹ , 622/622 Mbit·s ⁻¹ . Asymetricky: K uživateli: 622 Mbit·s ⁻¹ Od uživatele: 155 Mbit·s ⁻¹
Přenosové zpoždění OLT-ONT	1,5 ms	1,5 ms

3.3 GPON

Jedná se o gigabitovou pasivní optickou síť GPON (Gigabite PON), kterou standardizovalo doporučení ITU-T G.984x a ITU-T G.983.1. Tato síť vychází z předešlé pasivní sítě BPON. Přenos signálu je realizován na asynchronním přenosovém módu ATM. Další verze těchto sítí využívá ke komunikaci druhou vrstvu komunikačního modelu OSI, a to metodu zapouzdřeného módu GPON (GPON Encapsulation Mode, GEM). Jedná se o variantu protokolu (Generic Framing Procedure, GEP), která je dána doporučením ITUT G.7041/Y1303. Toto doporučení definuje dvě verze, které se používají, a to [3]:

- GFP-F rámcově orientovaný režim, který slouží pro přenos ethernetovských rámců nebo jiných datových jednotek uvnitř rámce GFP [3].

- GFP-T transparentní režim, který slouží pro přenos dat např. pro blokově kódovaná data u Ethernetu s rychlostí $1 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$. U GFP se rozlišuje uživatelský rámec, jenž může obsahovat uživatelská data nebo uživatelské řídicí informace, a řídicí rámec určený pro řízení spoje a pro vyplnění prázdného rámce. Uživatelský rámec má proměnnou délku až do maximální hodnoty 65539 bajtů [3].

V tabulce 5 můžeme pozorovat dvojice přenosových rychlostí, které jsou definované v sítích GPON. Hlavní rysy sítě GPON, pak obsahuje tabulka 6 [3].

Tabulka 5 - Kombinace přenosových rychlostí sítě GPON [3]

Symetrie	Přenosový směr k uživateli	Přenosový směr od uživatele
Nesymetricky	$1,2 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$	$155 \text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$
Nesymetricky	$1,2 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$	$622 \text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$
Symetricky	$1,2 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$	$1,2 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$
Nesymetricky	$2,4 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$	$1,2 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$
Nesymetricky	$2,4 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$	$155 \text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$
Nesymetricky	$2,4 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$	$622 \text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$
Nesymetricky	$2,4 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$	$1,2 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$
Symetricky	$2,4 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$	$2,4 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$

Tabulka 6 - Hlavní rysy sítě GPON [3]

Typ sítě	GPON	GPON
Protokol	ATM	ATM a GEM
Definiční standard	ITU-T G.983.1	ITU-T G.984.1
Architektura sítě	Symetrická: FTTCab/B/C/H Asymetrická: FTTCab/B/C	Symetrická: FTTCab/B/C/H pro činžovní domy a podniky Asymetrická: FTTCab/B/C pro činžovní domy
Typ vlákna	ITU-T G.652 (jedno nebo dvě vlákna)	ITU-T G.652 (jedno nebo dvě vlákna)
Maximální fyzická délka optického vlákna OLT-ONT	20 km	10 km MLM laser pro $1,25 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$ a vyšší 20 km
Rozbočovací poměr	až do 32 odbočení	až do 64 (128) odbočení
Rozsah nosných vlnových délek	Jedno vlákno: K uživateli: 1480 až 1580 nm Od uživatele: 1260 až 1360 nm Dvě vlákna: 1260 až 1360 nm	Jedno vlákno: K uživateli: 1480 až 1500 nm Od uživatele: 1260 až 1360 nm Dvě vlákna: 1260 až 1360 nm
Přenosová rychlost	Symetricky: $155; 622 \text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$ Asymetricky: K uživateli: $622; 125 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$	Symetricky: $1,25 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}; 2,5 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$ Asymetricky: K uživateli: $1,25 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}; 2,5 \text{ Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$

	Od uživatele: 155; 622 Mbit·s ⁻¹	Od uživ.: 155; 622; 1,25 Gbit·s ⁻¹
Přenosové zpoždění OLT-ONU	1,5 ms	1,5 ms

3.4 EPON

Jako u výše jmenovaných pasivních sítí APON/BPON/GPON, tak i u EPON (Ethernet PON) jsou základní principy a stavební prvky totožné. Rozdílem je pak nové řešení, které je navrženo v novém standardu IEEE802.3ah. Podobně jako je tomu u APON se používá vlnový a časový multiplex CWDM a TDM na poskytování obousměrného spojení bod - bod přes optické vlákno a udržuje rámcovou strukturu pro směry přenosu. Hlavním rozdílem je použita proměnná délka rámce, zatímco u APON je použita konstantní délka. EPON vytvořila pracovní skupina pod názvem Ethernet na první (poslední) míli, která měla za cíl stanovit zásady a pravidla pro vysokorychlostní připojení na základě ethernetových rozhraní. EPON je možné používat v hybridním uspořádání jako síť bod – mnohobod 1:n a zároveň pro spojení bod – bod. Nejčastějším způsobem zapojení bývá stromová topologie. V EPON se používá Ethernet jako přenosový protokol, který se používá v obou směrech přenosu rámce na dílčí vrstvě MAC s pevnou délkou 2 ms. Souhrnné vlastnosti sítí EPON udává tabulka 7. Porovnání sítí APON a EPON shrnuje tabulka 8 [3,1].

Tabulka 7 - Hlavní rysy sítí EPON [3]

Typ sítě	EPON
Protokol	Ethernet
Definiční standard	IEEE 802.3ah
Architektura sítě	1000 Base-PX10 1000 Base-PX20
Typ vlákna	1000 Base-PX10 jedno vlákno 1000 Base-PX20 dvě vlákna jednovidové-dále nespecifikováno
Maximální fyzická délka optického vlákna OLT-ONU	1000 Base-PX10 10 km 1000 Base-PX20 20 km
Poměr odbočení	1000 Base-PX10 až do 16 odbočení 1000 Base-PX20 až do 32 odbočení
Rozsah nosných vlnových délek	Jedno i dvě vlákna K uživateli: 1490 nm Od uživatele: 1300 nm
Přenosová rychlost	Symetricky: 1,2 Gbit·s ⁻¹

Hlavními výhodami EPON v porovnání s APON jsou:

- vyšší přenosová rychlost
- menší protokol záhlaví
- nižší náklady na provoz
- snadná integrace sítí LAN do budoucích optických ethernetových transportních sítí

Tabulka 8 - Porovnání sítí APON a EPON [3]

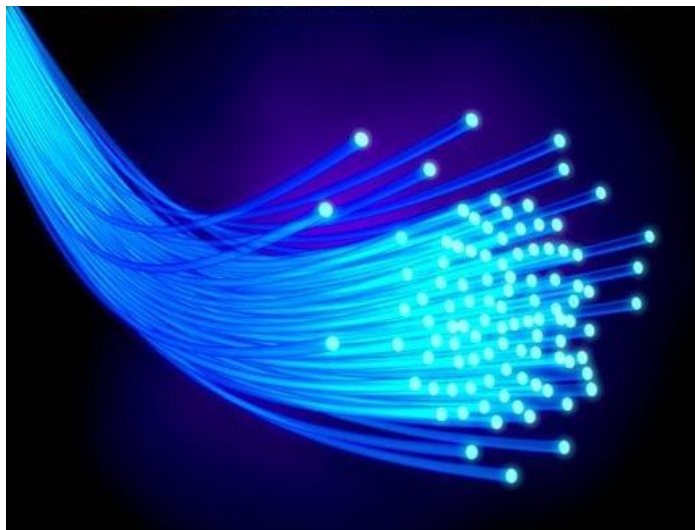
APON, BPON		EPON
Definiční norma	ITU-T/G. 983.x	IEEE 802.3 ah
Přenosová rychlost	155/622 Mbit·s ⁻¹	1,25 Gbit·s ⁻¹ symetricky
Protokol záhlaví pro služby IP	Velký	Malý
Stupňovitá rozšiřitelnost	Nízká	Vysoká (až do 10 Gbit·s ⁻¹)
Počáteční kapitálové náklady	Střední	Nízké až střední
Integrace služeb	Dobrá	Dobrá
Provozovatelé (investoři)	Velcí vlastníci sítí (ČTc)	Malí - alternativní operátoři

4 Prvky pasivní optické sítě

Pasivní prvky jsou optoelektronické součástky, které se používají k výstavbě kabelové trasy nebo sítě. Přitom nedochází k zesílení nebo regeneraci optického signálu, ale pouze k rozdělení nebo zeslabení. Každý pasivní optický prvek je kalibrován na jistý typ optického vlákna a danou vlnovou délku. Hlavními přenosovými parametry jsou vložný útlum a útlum odrazu, o kterých je dále řeč v samostatné kapitole Měření útlumu. Do pasivních prvků patří optické konektory, spojovací moduly, vláknové děliče dále součástky pro ovládání optického signálu jako jsou optické attenuátory, filtry nebo vlnové multiplexy [10].

4.1 Optické vlákno

Je to důležitý pasivní prvek, jímž se šíří elektromagnetické vlny ve směru osy vlákna s využitím totálního odrazu na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu. Optické vlákno může být vyrobeno z průhledného plastu, skla nebo kombinací obou těchto materiálů. Na dlouhé vzdálenosti je nejlepší volbou použití vlákna ze skleněného materiálu z důvodu nižších optických útlumů. Vlákna jsou využívána především v telekomunikacích, a to díky skvělým vlastnostem. Jsou výhodná zejména na dlouhé vzdálenosti, protože světlo prochází přes vlákno s malým útlumem ve srovnání s elektrickými kabely. Na optickém vlákně lze dosáhnout rychlosti přenosu až $111 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}$. Každé optické vlákno může nezávisle přenášet více signálů za použití různé vlnové délky světla [9].



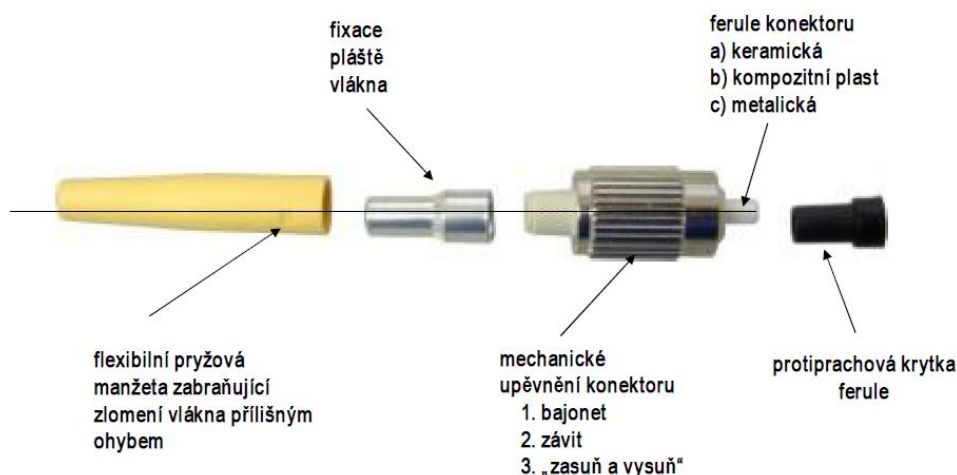
Obrázek 8 - Svazek optických vláken [9]

4.1.1 Dělení optických vláken

- Mnohobodové (multimode, MM) má větší průměr jádra než jednobodové vlákno, což vede ke zjednodušení spojení a umožňuje používat levnější elektroniku. Nejčastěji se používá na krátké vzdálenosti např. uvnitř budovy. Rychlost přenosu se pohybuje řádově kolem 10 Mbit·s⁻¹ až 10 Gbit·s⁻¹ na vzdálenost do 600 metrů [9].
- Jednobodové (singlemode, SM) má malý průměr jádra, což má za následek velký úhel odrazu ve vlákně a vede k menšímu prodloužení dráhy paprsku. Slouží pro přenos dat na větší vzdálenosti a vykazuje nejlepší parametry optické přenosové cesty [9].

4.2 Optický konektor

Taktéž se jedná o optický pasivní prvek, který slouží k zakončení nebo propojení optických kabelů. Slouží k ochraně vláken před poškozením. Vločný útlum se pohybuje řádově od 0,2 až 0,3 dB. Složení optického konektoru představuje obrázek 9 [12].



Obrázek 9 - Vnější části optického konektoru [12]

Ferule optického konektoru

Jedná se o nejpřesnější část optického konektoru s přísnými tolerancemi. Ve středu ferule se nachází válcový otvor, jehož průměr je větší než vnější průměr pláště vlákna. Ferule se dříve vyráběla z kovu, nyní však z keramických materiálů, začíná se vyrábět i z kompozitních plastů. Ferule se vybrušují do požadovaného tvaru buď manuálně, nebo strojově [12].

Tabulka 9 - Parametry optických konektorů [12]

Typy zabroušení ferule	Vložný útlum [dB]	Útlum odrazu [dB]
NPC (Non Physical Contact) – kolmé zabroušení	0,1 – 0,5	-14
PC (Physical Contact) – sférické zabroušení	0,1 – 0,3	-35
SPC (Super Physical Contact) – sférické zabroušení	0,1 – 0,3	-45
UPC (Ultra Physical Contact) – sférické zabroušení	0,1 – 0,3	-55
APC (Angled Physical Contact) – úhlové sférické zabroušení	0,1 – 0,3	-65

4.2.1 Typy optických konektorů

Optické konektory se vyrábí v mnoha provedeních, proto uvedu základní typy optických konektorů.

- **FC konektor** (Fiber Connector) je určený pro spojení mnohavidového (MM) a jednovidového (SM) optického vlákna. Používá feruli o průměru 2,5 mm, která je vyrobena z plastu nebo kovu. Používá se u telekomunikačních zařízení, CCTV nebo CATV aplikacích [12].
- **ST konektor** tak jako FC konektor i tento je určený pro spojení MM a SM optických vláken. Je velmi rozšířený především v LAN rozvodech. Ferule má průměr 2,5 mm. K mechanickému zajištění se využívá bajonetový princip. Konektor se vyrábí z plastu nebo keramiky [12].
- **SC konektor** je určený pro SM optická vlákna. Bývá vyroben z plastu. Ferule má průměr 2,5 mm. Mechanické provedení je typu push-pull (zasuň a vysuň) [12].

4.3 Optická spojka – coupling

Optický pasivní prvek, který slouží pro spojení patchcordů a okonektorovaných vláken či kabelů. Optické spojky se většinou používají do nástěnných rozvaděčů a optických van. Dělí se na spojky multimodové, singlemodové, duplexní či simplexní. Výhodou je nižší vložný útlum (< 0,1 dB) než u optických konektorů. Ukázka optických spojek je na obrázku 10 [8].



Obrázek 10 - Optické spojky [8]

4.4 Optický attenuátor

Tento pasivní optický prvek se používá jako útlumový článek pro přizpůsobení optického výkonu v optické síti. Útlum vzniká díky speciálnímu dotovanému útlumovému vláknu bez závislosti na vlnové délce [11].



Obrázek 11 - Optické attenuátory [11]

4.5 Vláknový dělič – coupler, splitter

Jedná se o pasivní optický prvek, který slouží k rozdělení optického výkonu do více optických vláken nebo ke sloučení signálů z více vláken do jednoho optického vlákna. Vláknový dělič není závislý na protokolu a přenášených rychlostech. Základním parametrem vláknového děliče je jeho poměr odbočení, zpravidla se nejčastěji udává jako 1:N, kde N určuje počet výstupů vláknového děliče. Výrobní proces vláknových děličů bývá nejčastěji realizován levnější metodou a to pasivním způsobem pomocí Y-článek, které představují krátké vzájemně svařené optické vlákna, nebo metodou planární technologie, která je založena na substrátu křemíku. Pro realizaci požadovaného poměru

odbočení se kaskádně navazují základní Y-články za sebe a tím pak vznikají vláknové děliče s počtem výstupů v mocnině 2. Příkladem jsou vláknové děliče s poměrem odbočení 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64. Čím více je poměr odbočení větší, tím pak úměrně roste i vložený útlum, který představuje celkový útlum daný součtem útlumu dělení (A_D) a zbytkovým útlumem (A_Z), jak udává vzorec (1). Výpočet útlumu dělení představuje vzorec (2), kde N je počet výstupů vláknového děliče. Zbytkový útlum je tvořen útlumem konektorů děliče, útlumem vlastních vláken a jejich svárem nepřesnosti při výrobě, typická hodnota se pohybuje řádově mezi 0,6 až 2,5 dB. Tabulka 9 představuje odhad útlumu vláknového děliče v závislosti na poměru odbočení [1].

$$A = A_D + A_Z \quad [dB] \quad (1)$$

$$A_D = 10 \cdot \log(N) \quad [dB] \quad (2)$$

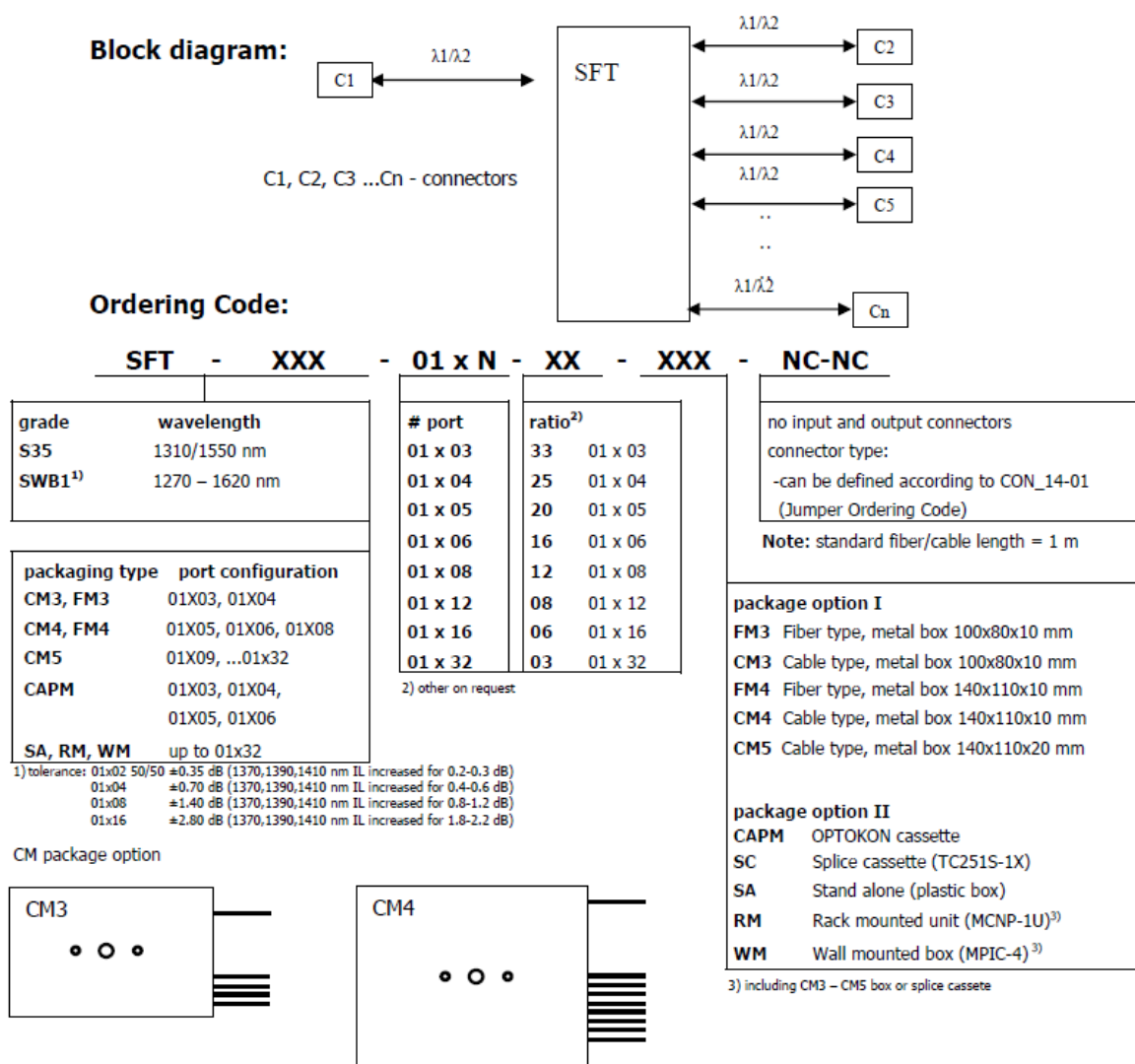
Tabulka 10 - Hodnoty vloženého útlumu vlnových děličů. [1]

Dělicí poměr (1:N)	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64
Útlum vláknového děliče [dB]	3,9	7,4	10,8	14,1	17,3	18,5

Hlavní náplní bakalářské práce je měření útlumu vláknových děličů v závislosti na teplotě, byly vybrány 3 vláknové děliče od firmy Optokon, která se zabývá vláknovou optikou. Každý vláknový dělič má své výrobní označení, podle kterého se dají v katalogu vyčíst jeho vlastnosti, viz obrázek 12.

Vybrané měřené vláknové děliče:

1. SFT-S35-01x02-30-CM1-SPC-SPC
2. SFT-S35-01x02-50-CM1-SPC-SPC
3. SFT-S35-01x04-25-CM3-SPC-SPC



Obrázek 12 - Popis vlastností SFT vláknových děličů [13]

5 Měření útlumu

Útlum si můžeme představit jako ztrátu optického výkonu způsobenou přidáním optického prvku do optické trasy. Útlum se vyjadřuje v jednotkách decibelu [dB]. Rozlišujeme dvě skupiny metod měření útlumu a to přímou metodu, která se označuje jako transmisní a je založena na přímém měření ztrát optického výkonu při jeho průchodu měřenou součástkou. Druhou skupinu tvoří metoda zpětného rozptylu (OTDR), ta je založena na vyhodnocování útlumu z analýzy křivky zpětného rozptylu. Po konzultacích s vedoucím bakalářské práce byla vybrána pro měření útlumu metoda transmisní, která je velmi rychlá a poskytuje nejvyšší přesnost měření, i co se týče hlediska ekonomického, pořizovací náklady jsou podstatně nižší, než kdyby byla použita metoda OTDR. Nevýhodou transmisní metody je, že neposkytuje informace o průběhu útlumu podél trasy [10].

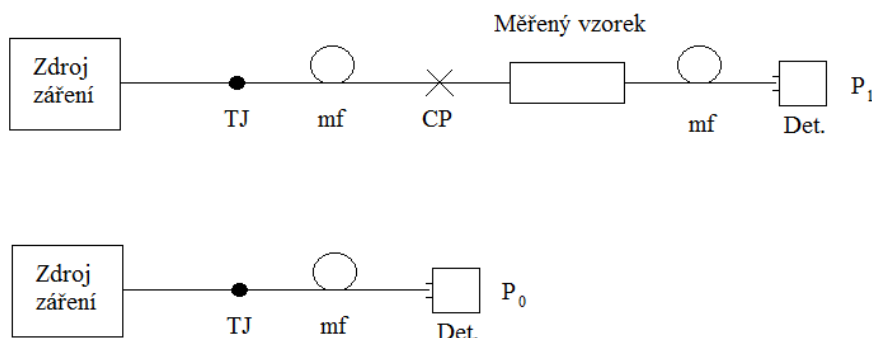
5.1 Transmisní metody měření útlumu

Tyto měřicí metody jsou založeny na měření ztráty optického výkonu procházejícího měřenou součástkou. Celé měření probíhá ve dvou krocích. U prvního kroku se měří optický výkon bez součástky P_0 , ve druhém kroku se přidá do optické trasy měřená součástka P_1 . Podle vzorce (3) pak vypočteme útlum. Referenční hodnotu P_0 můžeme získat třemi transmisními metodami, a to: metodou dvou délek, metodou vložných ztrát a metodou substituční, která je alternativní k metodě dvou délek [10].

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_0}{P_1} \text{ [dB]} \quad (3)$$

5.1.1 Metoda dvou délek

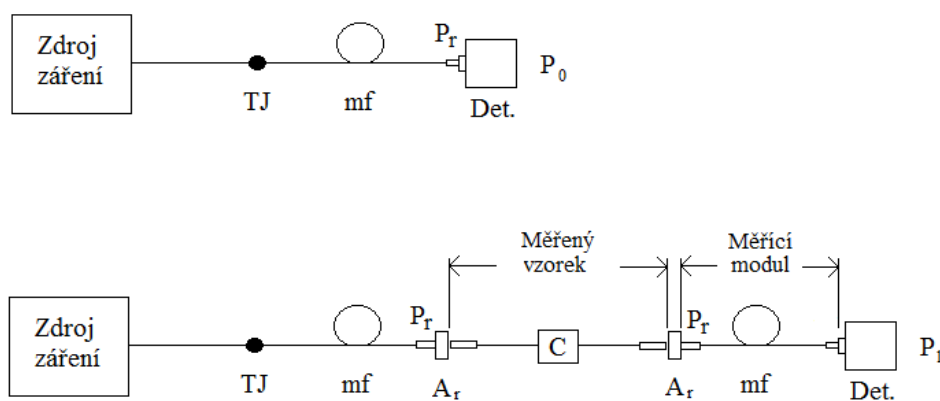
Jedná se o nejpřesnější metodu pro měření útlumu, která je bohužel destruktivní. Nejdříve se změří optický výkon P_1 , poté se změří optický výkon P_0 po přeřiznutí vlákna za vidovým filtrem. Během provádění měření se nesmí změnit podmínky vazby, nesmí se přerušit dočasné spojení TJ. Vlastností vidového filtru (mf – mode filter), který je nutno použít při měření jednovíkových prvcích, je odstranit z jádra vlákna část optického výkonu, která není nesená základním videm [10].



Obrázek 13 - Postup měření pasivních prvků metodou dvou dělek [10]

5.1.2 Metoda vložných ztrát

Tato nedestruktivní metoda byla použita k měření útlumu vybraných vláknových děličů v této bakalářské práci. Výhodou je měření útlumu v provozu. Nevýhodou jsou pak méně přesné výsledky, a proto je nutno měřenou hodnotu měřit vícekrát, aby se dala vypočítat nejlepší střední hodnota útlumu. Útlum byl měřen z obou směrů, protože odrazy jsou u každého směru jiné. Způsob měření spočívá v první řadě zjištění referenční hodnoty P_0 optického výkonu, pak se měří optický výkon P_1 . U této metody je nutné použít měřicí konektorové spojky (A_r – reference Adapter) a měřicí spojovací moduly (P_r – reference Plug), jejichž útlum se započítává do útlumu měřené součástky [10].

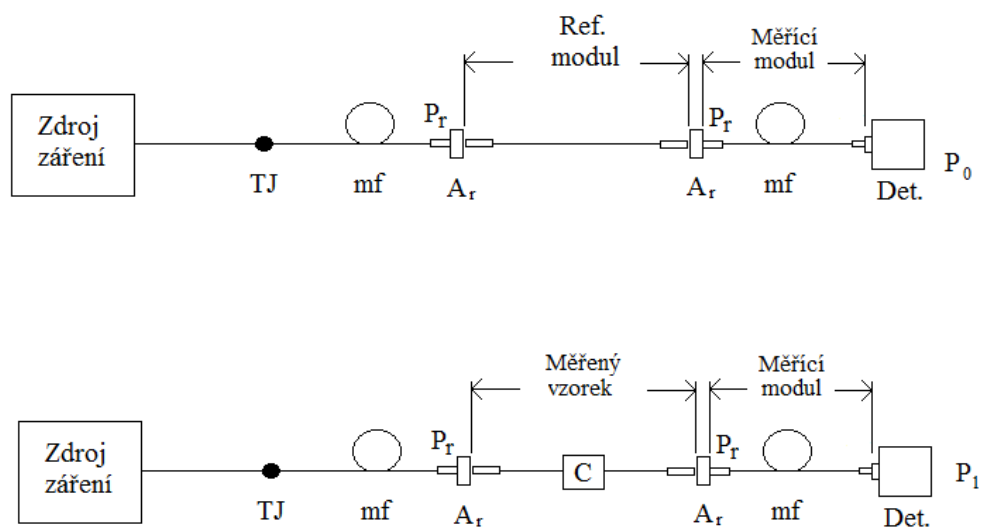


Obrázek 14 - Postup měření pasivní součástky metodou vložných ztrát [10]

5.1.3 Metoda substituční

Tato metoda je sice nedestruktivní, ale zato málo přesná, je alternativní k metodě dvou dělek. Za pomoci použití speciálního referenčního modulu (substitute jumper) získáme referenční hodnotu P_0 . Postup měření je představen na obrázku 14. Abychom dosáhli nejlepších výsledků měření, je nutné

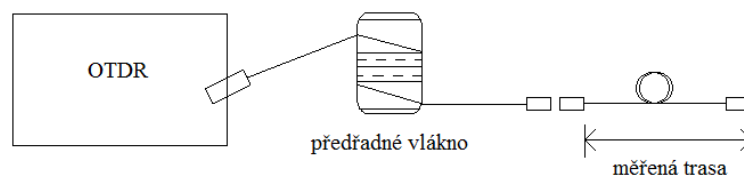
zvolit správný referenční spojovací modul. Modul musí mít identické vlákno a identické kvalitní konektory jako měřená součástka. U této metody se nezapočítává útlum měřících konektorů [10].



Obrázek 15 - Postup měření pasivní součástky metodou substituční [10]

5.2 Metoda zpětného rozptylu

Tato metoda je založena na Rayleighově rozptylu, při kterém se část vyslaného impulsu průchodem vlákna odrazí zpět k vysílači. Metoda se používá nejčastěji při budování optických tras s jednojádrovým vláknem. Postup měření je znázorněn na obrázku 15. U symetrických součástek je nutné provést měření z obou konců a teprve průměrná hodnota obou změřených hodnot udává útlum měřené součástky [10].



Obrázek 16 - Postup měření optickým reflektometrem [10]

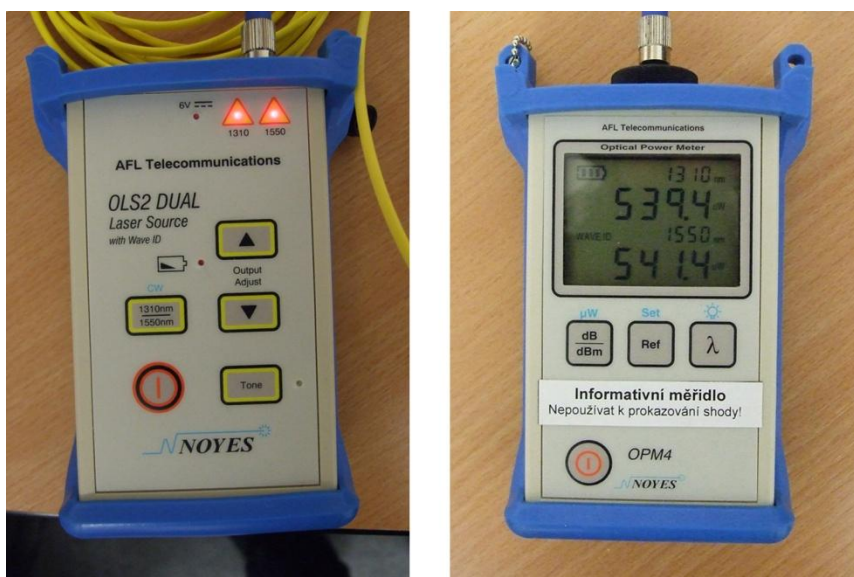
6 Průběh měření

6.1 Použité měřicí přístroje

Jako zdroj optické záření byl použit laserový přístroj od firmy NOYES (obr. 16) OLS2-Dual, který současně dokáže pracovat s vlnovými délkami 1310 nm a 1550 nm.

K určení naměřených hodnot posloužil měřicí přístroj, taktéž od firmy NOYES (obr. 17) OPM4, který se používá k měření MM a SM optických tras. Díky technologii Wave ID dokáže detekovat vysílanou vlnovou délku, případně vlnové délky. Měření výkonu může být v dBm nebo μW , útlumu v dB.

Pro dosažení požadovaných tepelných hodnot byl použit přístroj pro ohřev Memmert ONE 7 (obr. 18), který byl dodán firmou Merci s.r.o. Přístroj pracuje na bázi vodní/olejové lázně. Pracovní rozsah lázní ONE je od $+10^{\circ}\text{C}$ do $+200^{\circ}\text{C}$.



Obrázek 17 - Laserový zdroj záření, měřidlo výkonu/útlumu.

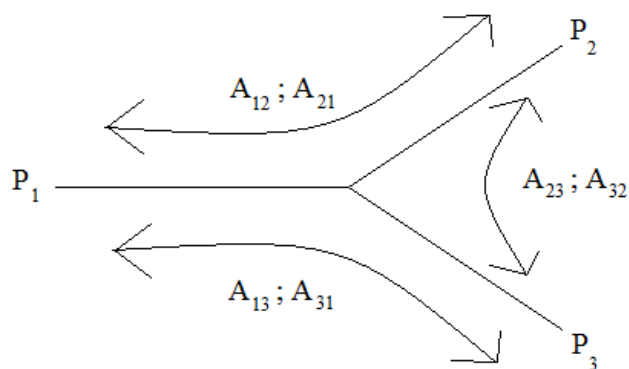


Obrázek 18 - Vodní/olejová lázeň Memmert ONE 7

6.2 Postup měření

Abych mohl začít se samotným měřením vybraných vláknových děličů, bylo zprvu nutné pomocí speciální čistící sady patřičně očistit všechny konce optických vláken z důvodu možných nečistot, které by se negativně projevovaly na samotném měření.

Celé měření bylo prováděno transmisí metodou, metodou vložných ztrát. Tato metoda bohužel není nejpřesnější, a proto se každé měření určité hodnoty provádělo 5x, z důvodu co nejsprávnějších výsledků. Z těchto pěti výsledků se pomocí průměrování vyjádřila střední hodnota, která byla zaznamenána. Teplotní rozsah měření začínal na 20°C a postupně po 5°C rostl až do dané výše 70°C. Každý vláknový dělič byl proměřen ze všech směrů, viz obrázek 18. Náplní měření bylo určit dělicí poměr, přeslech mezi větvemi P_2 a P_3 , vložný útlum a celkové ztráty.



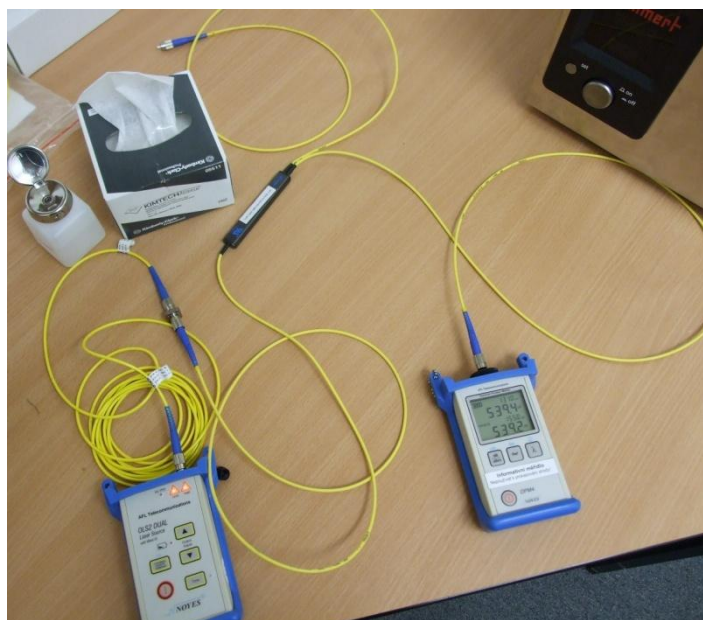
Obrázek 19 - Schéma měření vláknového děliče

První etapou měření bylo určení referenční hodnoty P_1 , postup je znázorněn na obrázku 20.



Obrázek 20 - Měření referenční hodnoty

Ve druhé etapě měření byl do optické trasy přidán pasivní prvek, v mém případě vláknový dělič, u něhož jsem prováděl měření útlumu mezi jeho vstupem a výstupem. Měření je znázorněno na obrázku 21.



Obrázek 21 - Měření výkonu vláknového děliče

V dalších etapách byly postupně proměřeny všechny směry vlnových děličů při každé navýšené teplotě o 5°C. O nastavení teploty se starala vodní/olejová lázeň Memmert ONE 7, do níž byl ve speciální nepropustné nádobě vložen vláknový dělič.

Z přílohy do bakalářské práce byl na ukázkou vybrán vláknový dělič SFT-S35-01x02-50-CM1-SPC-SPC.

Podle obrázku 12 z kapitoly 4.5 o něm mohu říci, že se jedná o symetrický vláknový dělič určený pro vlnové délky 1310/1550 nm, má jeden vstup a dva výstupy, ferule mají sférické zabroušení.

7 Měření vložného útlumu

Celé měření bylo provedeno na obou vlnových délkách 1310 a 1550 nm. Byly proměřeny všechny části vláknového děliče, jak je znázorněno na obrázku 18. Na měřicím přístroji NOEYS OMP4 byl nastaven měřicí rozsah výkonu v μW . Z těchto naměřených hodnot se vypočetly všechny požadované parametry tj. vložný útlum (č. 4), dělicí poměr (č. 5), přeslech mezi větvemi P_2 a P_3 (č. 6) a celkové ztráty (č. 7).

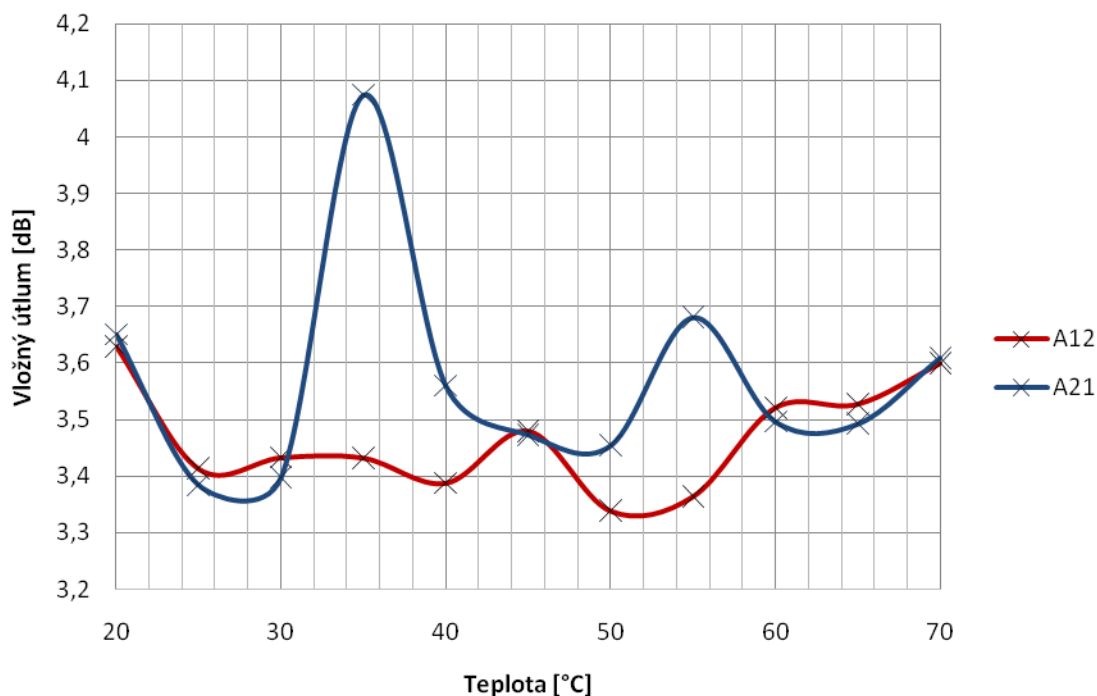
$$A = -10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

$$Dp = \frac{P_2}{P_2 + P_3} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

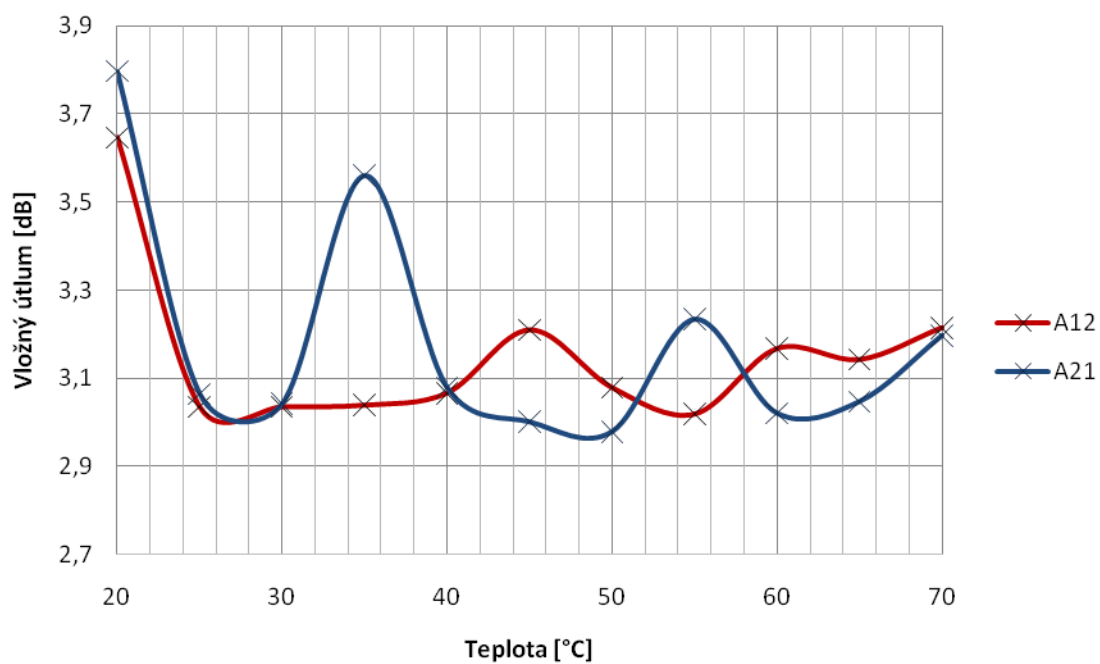
$$P = -10 \log \frac{P_2}{P_3} \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

$$Z = -10 \log \frac{P_2 + P_3}{P_1} \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

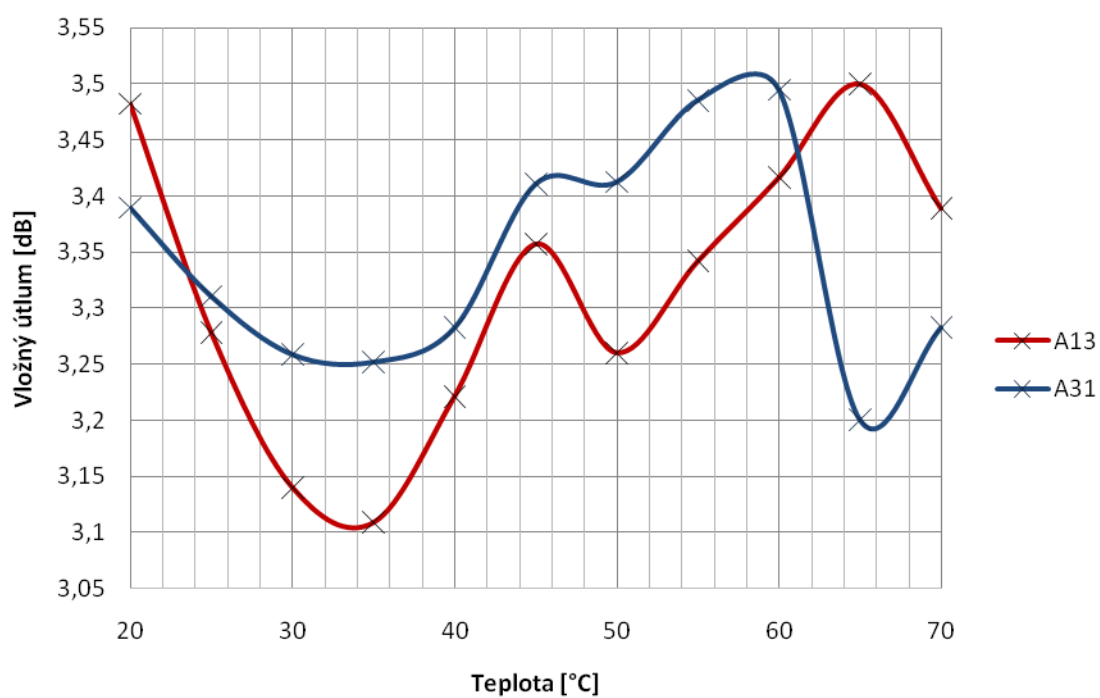
V následující části bakalářské práce jsou uvedeny grafové závislosti změřeného vláknového děliče od firmy Optokon SFT-S35-01x02-50-CM1-SPC-SPC. Celkové zhodnocení naměřených hodnot je uvedeno v samotné kapitole 8.



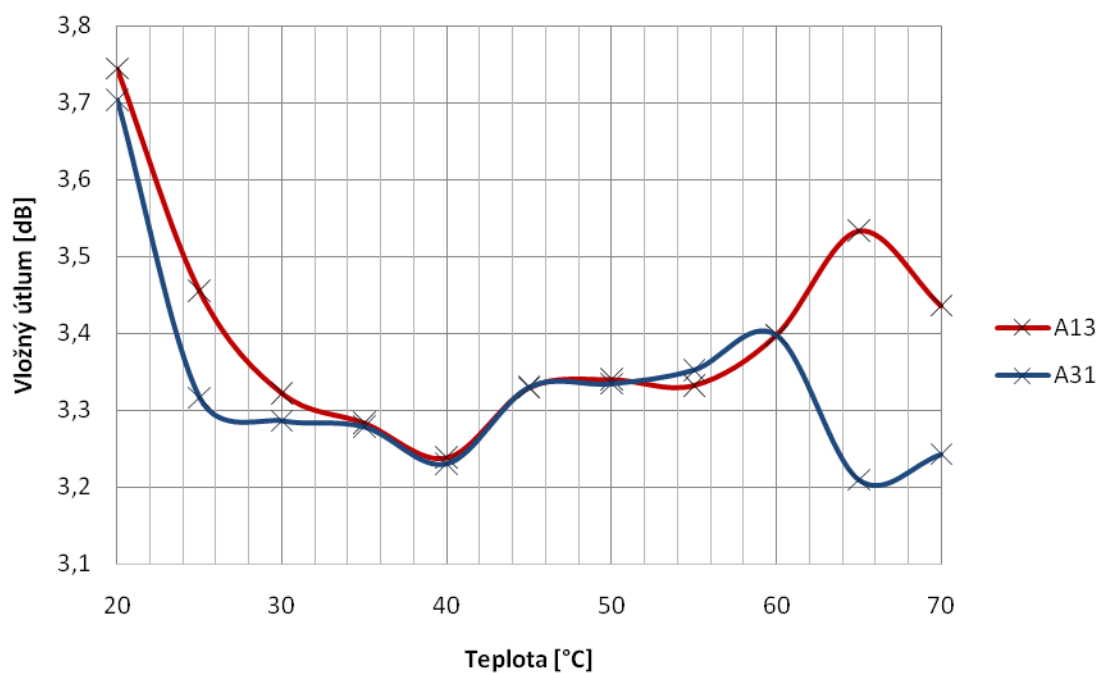
Graf 1 - Vložný útlum A_{12} a A_{21} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1310nm.



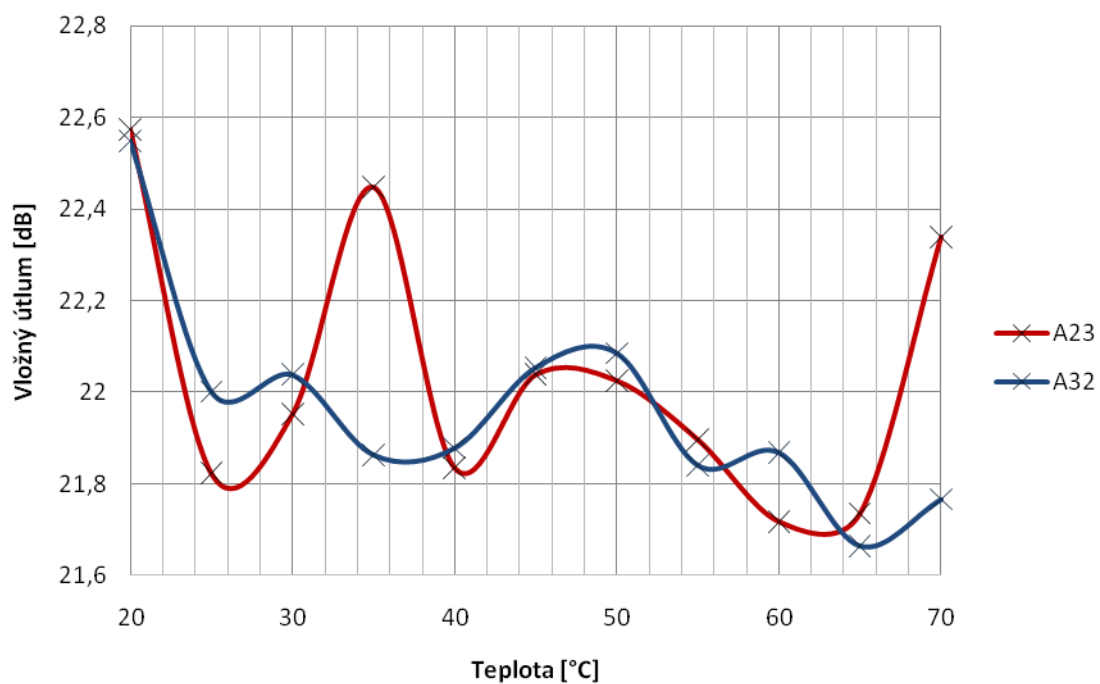
Graf 2 - Vložný útlum A_{12} a A_{21} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1550nm.



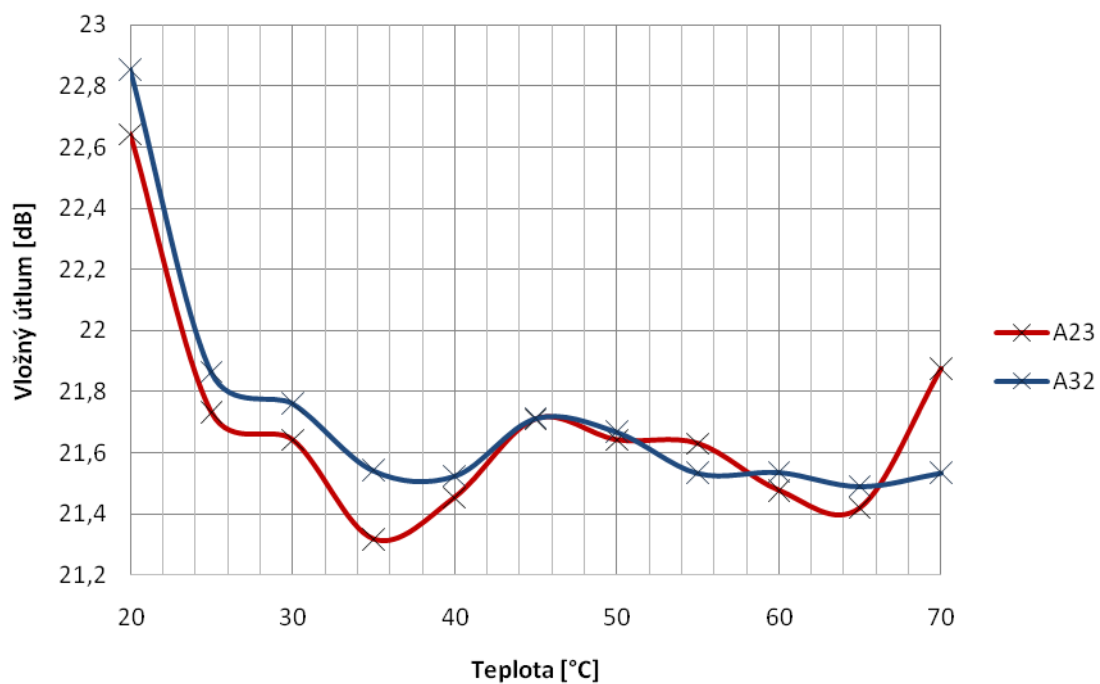
Graf 3 - Vložný útlum A_{13} a A_{31} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1310nm.



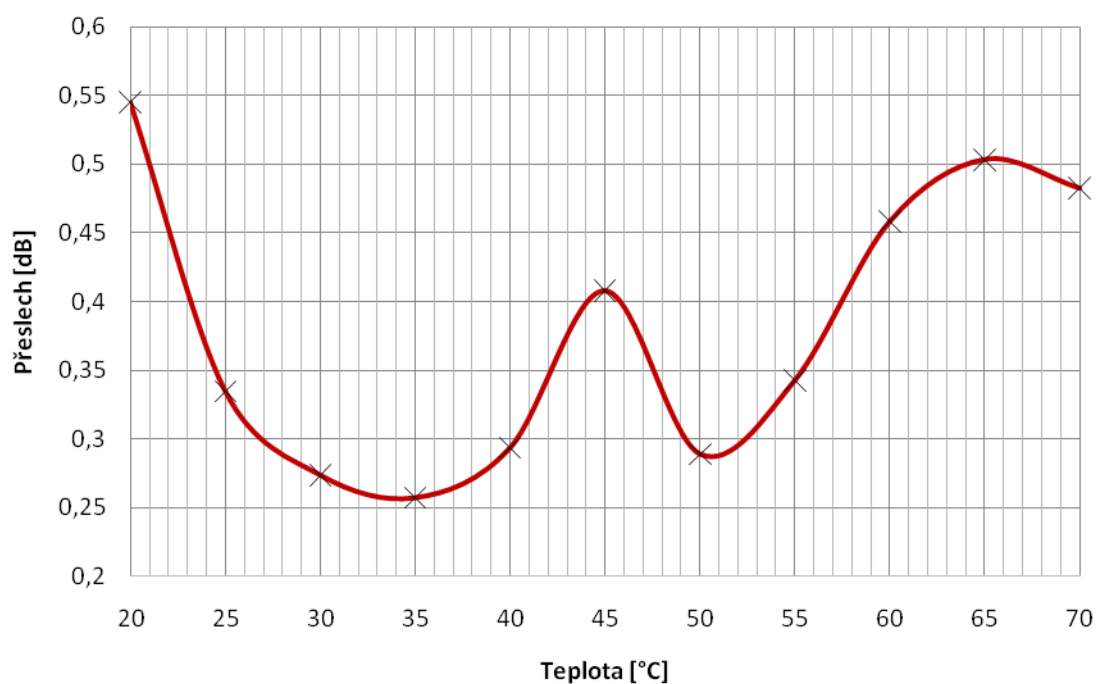
Graf 4 - Vložný útlum A_{13} a A_{31} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1550nm.



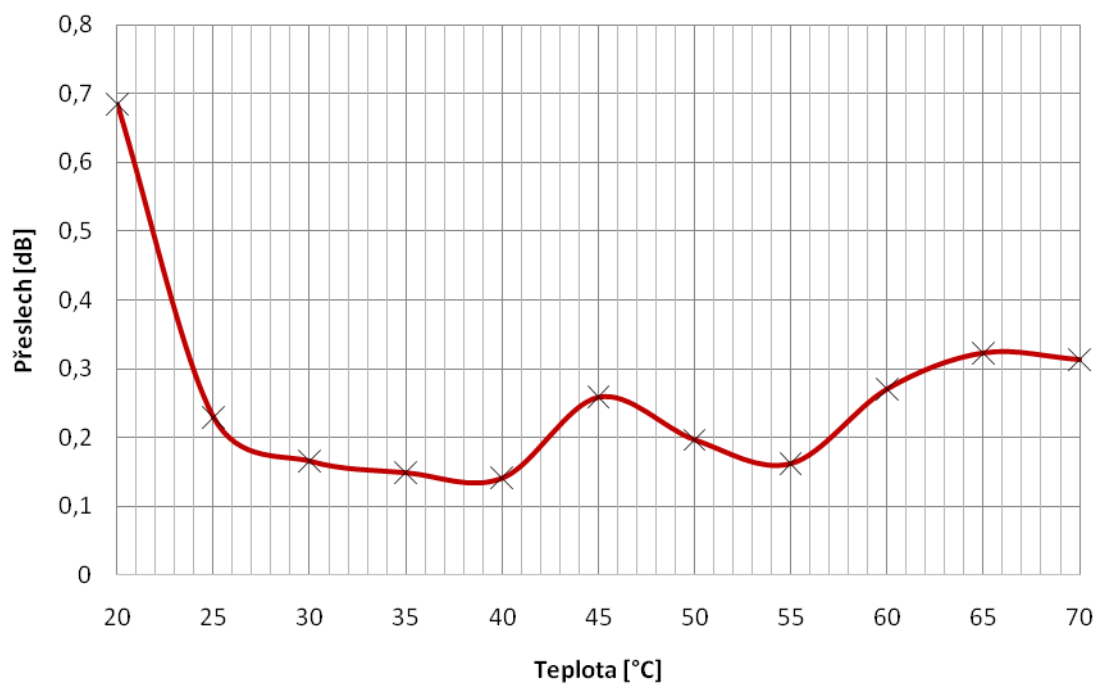
Graf 5 - Vložný útlum A_{23} a A_{32} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1310nm.



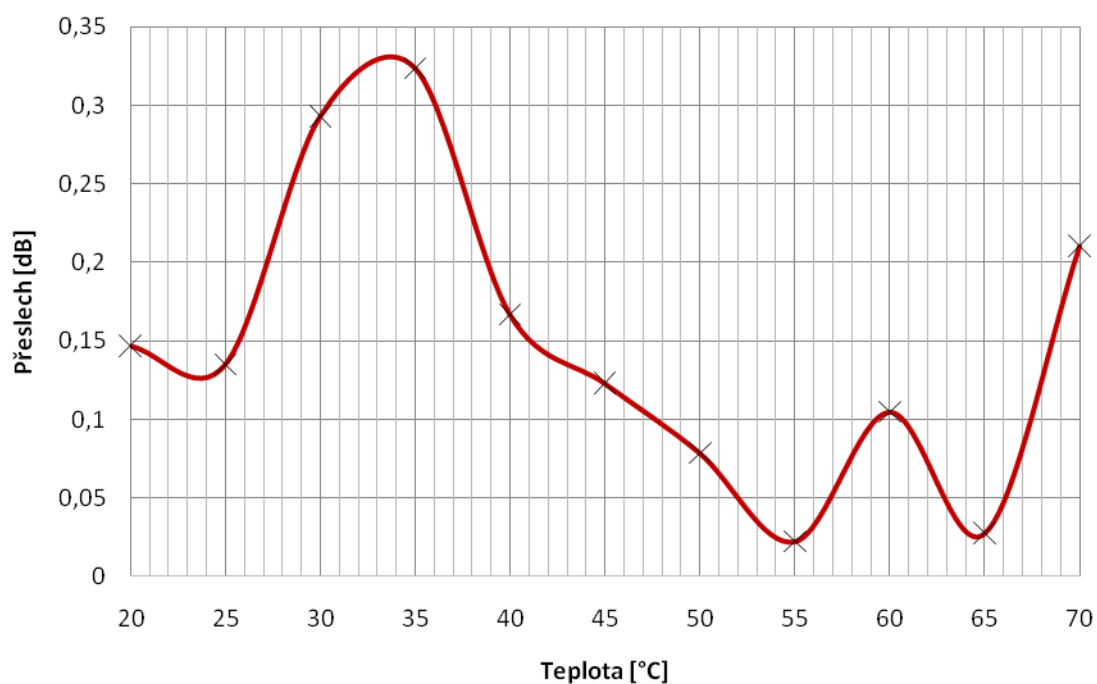
Graf 6 - Vložný útlum A_{23} a A_{32} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1550nm.



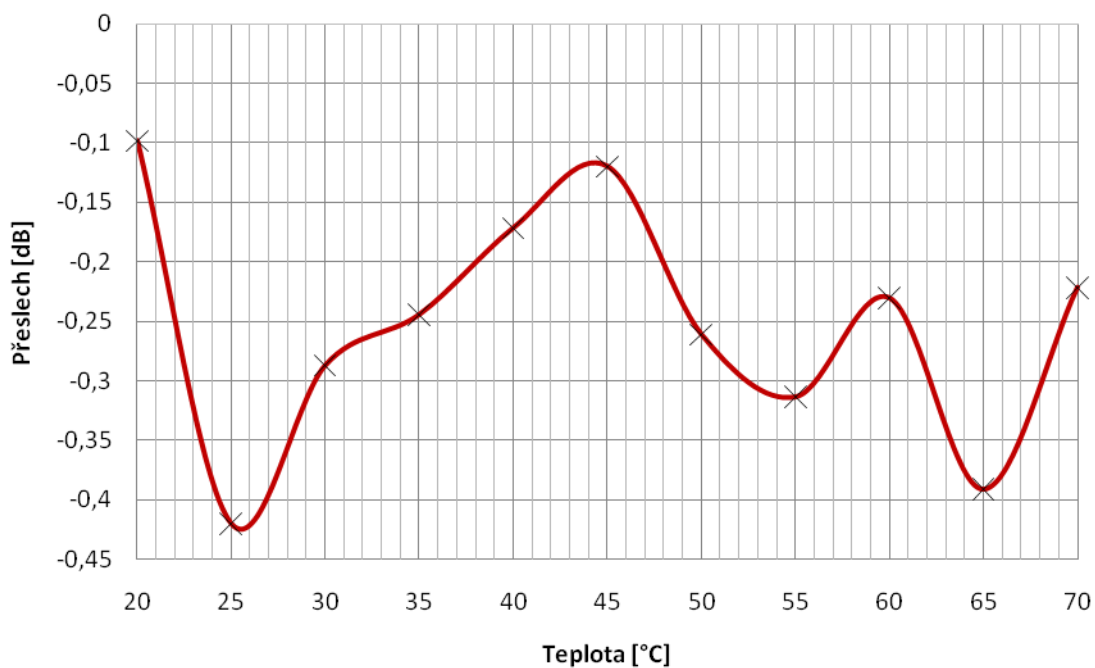
Graf 7 - Ztráta výkonu v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1310nm.



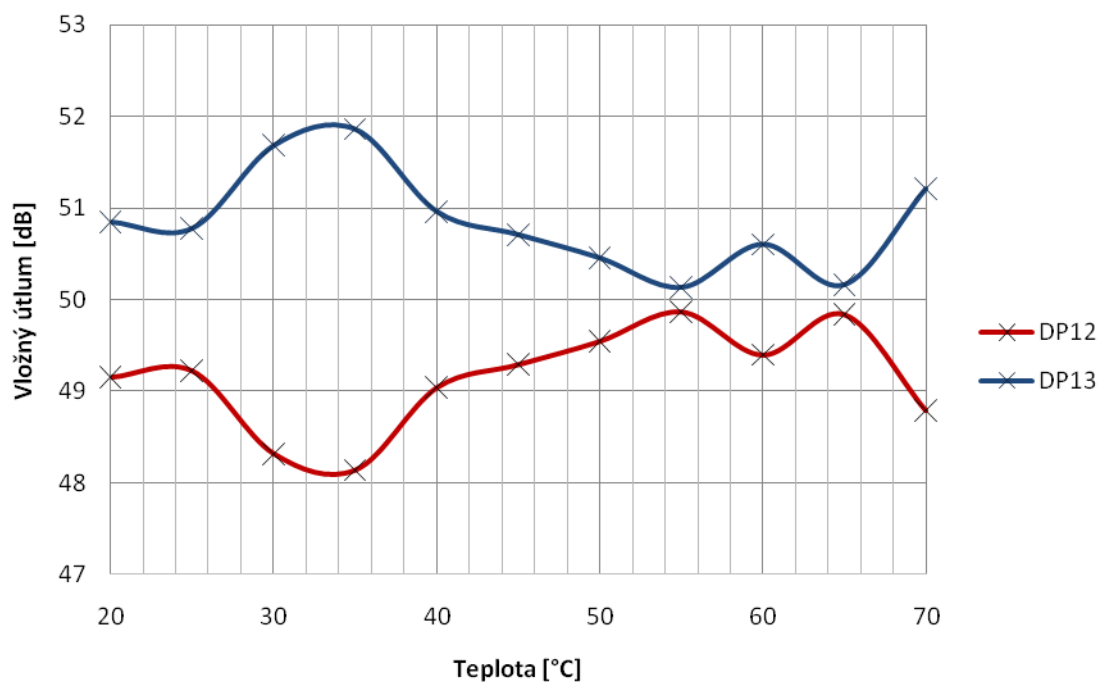
Graf 8 - Ztráta výkonu v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1550nm.



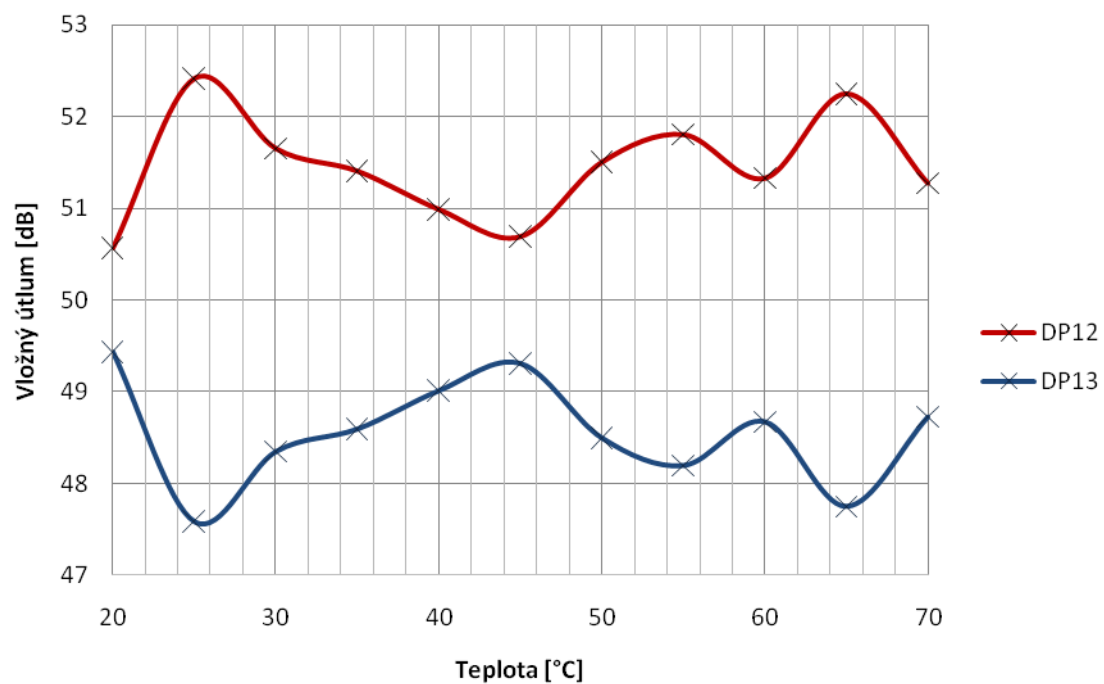
Graf 9 - Přeslech výkonu mezi P_2 a P_3 v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1310nm.



Graf 10 - Přeslech výkonu mezi P_2 a P_3 v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1550nm.



Graf 11 - Dělicí poměr DP_{12} a DP_{13} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1310nm.



Graf 12 - Dělicí poměr DP_{12} a DP_{13} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1550nm.

8 Zhodnocení naměřených výsledků

Celé měření bylo provedeno transmisní metodou, metodou vložných ztrát, která bohužel není nejpřesnější, proto bylo celé měření opakováno 5x a pomocí průměrování byla zjištěna střední hodnota, kterou je i tak nutné brát s mírnou rezervou. Aby naměřené výsledky odpovídaly ještě přesnějším hodnotám, bylo nutné pravidelně čistit konektory od nečistot, jež by negativně ovlivňovaly celé měření. Co se týče teplotních změn, vykazoval měřený prvek malé výchylky, které nejsou nikterak dramatisující. Podle rozbočovacího poměru 1:2 se plně měřený prvek vejde do útlumu, který znázorňuje tabulka 9. Při vlnové délce 1310 nm dosahoval vložný útlum A_{12} velmi přijatelných výsledků, které se pohybovaly od 3,3 – 3,6 dB, nejnižší útlum nastal u teploty 50°C. Oproti tomu vložný útlum A_{21} dopadl o něco hůře, jeho hodnota útlumu se pohyboval v rozmezí 3,3 – 4,1 dB, větší změny útlumu vykazoval na teplotách 35°C a 55°C. U vložného útlumu A_{13} v teplotním rozmezí 20 – 35°C klesal útlum z hodnoty 3,5 dB na hodnotu 3,1 dB, poté začal stoupat až do jeho maxima, které bylo 3,5 dB. Vložný útlum A_{31} dosahoval podobných výsledků jako vložný útlum A_{13} jen s tím rozdílem, že jeho nejnižší útlum dosahoval hodnoty 3,2 dB. Vložný útlum A_{23} dosahoval podobných výsledků jako vložný útlum A_{32} , útlum se pohyboval v rozmezí 22,6 – 21,7 dB. Útlum přeslechu, který je nežádoucím jevem, byl v normě, držel se hodnotě blízké 0. Na začátku měření dosahoval přeslech hodnoty 0,15 dB při teplotě 20°C, poté od tepelné hodnoty 25 – 35°C nastal vzrůst a dále jen klesal. Dělicí poměr vláknového děliče se částečně blížil poměru uvedenému výrobcem, který je 50:50, tohoto poměru dosáhl prvek při teplotách 55°C a 65°C. Do této chvíle bylo celé hodnocení prováděno pro vlnovou délku 1310 nm. Při vlnové délce 1550 nm dosahoval vláknový dělič o poznání lepších výsledků, změna útlumu v závislosti na teplotě se skoro neprojevovala. Pro dosažení nejlepších vlastností tohoto vláknového děliče doporučuji použití vlnové délky 1550 nm při teplotě 30 - 40°C. Pokud by bylo nutné použít prvek na vlnové délce 1310 nm, doporučuji jej použít při teplotní velikosti, která činí 35°C. Při těchto teplotních hodnotách vykazuje vláknový dělič nejlepší vlastnosti. Tento měřený vláknový dělič bych doporučil jak pro digitální přenos signálu, tak i pro přenos analogového signálu, který vyžaduje co nejlepší vlastnosti přenosového prostředí. V příloze jsou k nalezení další dva vláknové děliče, které bych také rád krátce zhodnotil. Prvním z nich je vláknový dělič typu 1:2 s dělicím poměrem 30:70, jehož výsledky měření útlumu dopadly uspokojivě, jedinou vadou byl značně vysoký útlum přeslechu, který dosahoval velikosti až 4 dB, z čehož jsem usoudil, že se nejspíše jedná o technickou závadu při výrobě. Posledním měřeným prvkem byl symetrický vláknový dělič typu 1:4, jehož naměřené výsledky byly velmi uspokojující, vložný útlum se pohyboval řádově od 6,1 – 7 dB.

Závěr

V této bakalářské práci jsem se věnoval měření útlumu pasivních optických vláknových děličů v závislosti na teplotě. Při psaní práce jsem se snažil případnému čtenáři co nejvíce přiblížit celou problematiku pasivních optických sítí tak, aby ji byl schopen co nejlépe pochopit a orientovat se v ní. Bakalářská práce se skládá ze dvou hlavních celků. Z teoretické části a části praktické.

V části teoretické popisuji celkové rozdělení optických sítí, dále se zaměřuji na síť pasivní, kde se snažím popsat jejich vlastnosti, architekturu a způsoby jejich měření.

Praktická část byla zaměřena na změření útlumu vláknových děličů, které byly vybrány vedoucím bakalářské práce. Měření útlumu bylo provedeno metodou transmisní, metodou vložných ztrát. Tato metoda byla též vybrána po dohodě s vedoucím bakalářské práce. Samotné výsledky a grafy naměřených hodnot jsou k dispozici v příloze bakalářské práce. Do práce jsem na ukázkou zahrnul změřený vláknový dělič SFT-S35-01x02-50-CM1-SPC-SPC, u něž jsem uvedl také krátké zhodnocení.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo měření změn útlumu prvků PON s teplotou, což se mi podařilo splnit, dále jsem naměřené a spočítané hodnoty vnesl do grafů. Celé měření jsem pak zhodnotil. Zajímavé by bylo měření kaskádové v závislosti na teplotě, při čemž by mohl nastat znatelný útlum vláknových děličů.

Doufám, že má práce poskytne případným čtenářům bohaté informace, které hledají a potřebují.

Literatura

- [1] *Access server : optické síť* [online]. 2004 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/>>.
- [2] *Symp* [online]. 2007 [cit. 2010-04-27]. Výhody optické sítě. Dostupné z WWW: <<http://www.symp.cz/text-11-vyhody-opticke-site.html>>.
- [3] ING. SLAVÍK, Jan; ING. LUXEMBURK, Antonín; HRSTKA, Jaroslav. *Testcom* [online]. Praha : 2006 [cit. 2010-04-27]. Vysokorychlostní přístup ke službám elektronických komunikací. Dostupné z WWW: <http://www.testcom.cz/pdf/vyzkum/Navrh_postupu.pdf>.
- [4] ING. ŠIŠKA, Petr. *Technologie PON*. Ostrava, 2004. 6 s. Výukový materiál. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [5] ING. LAFATA, Pavel. *Metody měření útlumu optického vlákna : Pasivní optické přístupové sítě PON*. Praha, 2009. 14 s. Výukový materiál. Katedra telekomunikační techniky, FEL ČVUT v Praze. Dostupné z WWW: <<http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4867>>.
- [6] PROF. ING. DIVIŠ, CSC., Zdeněk. *Přístupové sítě*. Ostrava, 2006. 44 s. Výukový materiál. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [7] ING. JAREŠ, Petr. *Pasivní optické přístupové sítě - PON*. Praha, 2008. 12 s. Výukový materiál. Katedra telekomunikační techniky, FEL ČVUT v Praze. Dostupné z WWW: <<http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4149>>.
- [8] *Optické kabely* [online]. 2007 [cit. 2010-04-27]. Optické spojky. Dostupné z WWW: <<http://www.optickekabely.cz/Opticke-spojky-coupling.aspx>>.
- [9] Optické vlákno In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2006, 2010 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Optické_vlákno>.
- [10] KUCHARSKI, Maciej; DUBSKÝ, Pavel. *Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras*. Praha : Mikrokom, 1998. 73 s.
- [11] *Optické kabely* [online]. 2007 [cit. 2010-04-27]. Útlumové články. Dostupné z WWW: <<http://www.optickekabely.cz/Utlumove-clanky.aspx>>.
- [12] ING. BOHÁČ, PH.D., Leoš. *Optické přenosové systémy*. Praha, 2008. 64 s. Výukový materiál. Katedra telekomunikační techniky, FEL ČVUT v Praze.
- [13] *Optokon* [online]. 2008 [cit. 2010-04-27]. Couplers, Splitters. Dostupné z WWW: <http://www.optokon.cz/datasheets/A-Passive_fiber_optic_components/A5-Couplers,Splitters/CPL_08-02_EN-SFT-S35-01xN.pdf>.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - základní rozdělení optických sítí [1]	2
Obrázek 2 - Příklady optických sítí [1]	3
Obrázek 3 - Architektura FTTX = PON [4]	5
Obrázek 4 - OLT MiniMAP 9100 [5]	6
Obrázek 5 - Jednotka AT-ON1000 [5].....	6
Obrázek 6 - Referenční schéma optické přístupové sítě APON [3]	7
Obrázek 7 - Referenční schéma optické přístupové sítě BPON [3]	9
Obrázek 8 - Svazek optických vláken [9]	14
Obrázek 9 - Vnější části optického konektoru [12].....	15
Obrázek 10 - Optické spojky [8]	17
Obrázek 11 - Optické atenuátory [11].....	17
Obrázek 12 - Popis vlastností SFT vláknových děličů [13]	19
Obrázek 13 - Postup měření pasivních prvků metodou dvou délek [10]	21
Obrázek 14 - Postup měření pasivní součástky metodou vložných ztrát [10]	21
Obrázek 15 - Postup měření pasivní součástky metodou substituční [10].....	22
Obrázek 16 - Postup měření optickým reflektometrem [10].....	22
Obrázek 17 - Laserový zdroj záření, měřidlo výkonu/útlumu.	23
Obrázek 18 - Vodní/olejová lázeň Memmert ONE 7	24
Obrázek 19 - Schéma měření vláknového děliče	24
Obrázek 20 - Měření referenční hodnoty	25
Obrázek 21 - Měření výkonu vláknového děliče	25

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Jmenovité a skutečné přenosové hodnoty sítí APON a BPON [3]	8
Tabulka 2 - Jmenovité přenosové rychlosti sítí APON a BPON [3]	8
Tabulka 3 - Průměrná přenosová rychlost na jedno ONT v APON a BPON [3]	9
Tabulka 4 - Hlavní rozdíly mezi optickými sítěmi APON a BPON [3]	9
Tabulka 5 - Kombinace přenosových rychlostí sítě GPON [3]	11
Tabulka 6 - Hlavní rysy sítí GPON [3]	11
Tabulka 7 - Hlavní rysy sítí EPON [3]	12
Tabulka 8 - Porovnání sítí APON a EPON [3]	13
Tabulka 9 - Parametry optických konektorů [12]	16
Tabulka 10 - Hodnoty vložného útlumu vlnových děličů. [1]	18

Seznam grafů

Graf 1 - Vložný útlum A_{12} a A_{21} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1310nm.	27
Graf 2 - Vložný útlum A_{12} a A_{21} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1550nm.	28
Graf 3 - Vložný útlum A_{13} a A_{31} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1310nm.	28
Graf 4 - Vložný útlum A_{13} a A_{31} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1550nm.	29
Graf 5 - Vložný útlum A_{23} a A_{32} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1310nm.	29
Graf 6 - Vložný útlum A_{23} a A_{32} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1550nm.	30
Graf 7 - Ztráta výkonu v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1310nm.	30
Graf 8 - Ztráta výkonu v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1550nm.	31
Graf 9 - Přeslech výkonu mezi P_2 a P_3 v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1310nm.	31
Graf 10 - Přeslech výkonu mezi P_2 a P_3 v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1550nm.	32
Graf 11 - Dělicí poměr DP_{12} a DP_{13} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1310nm.	32
Graf 12 - Dělicí poměr DP_{12} a DP_{13} v závislosti na teplotě pro vlnovou délku 1550nm.	33

Seznam příloh

Příloha 1 – přiložené CD s obsahem:

- bakalářská práce
- tabulky a grafy vláknového děliče OPTOKON SFT-S35-01x02-30-CM1-SPC-SPC
- tabulky a grafy vláknového děliče OPTOKON SFT-S35-01x04-25-CM3-SPC-SPC
- tabulky a grafy vláknového děliče OPTOKON SFT-S35-01x02-50-CM1-SPC-SPC